H. LILEN

Interfaces pour MICROPROCESSEURS et MICRO-ORDINATEURS

PRATIQUE - CIRCUITS - APPLICATIONS



2e ÉDITION
revue et complétée

S. E. C. F.
ÉDITIONS RADIO



Page 1 ------ 157

$V_{ref}/16$ en B et $V_{ref}/32$ en A. A travers les résistances 2R, ces tensions donnent naissance à des courants qui seront additionnés par l'amplificateur opérationnel. Dans le schéma, le mot d'entrée est sur 5 bits binaires ; il peut être allongé (ou réduit) selon le même principe ; les commutateurs sont, bien sûr, des transistors.

4. EXEMPLE DE MONTAGE A/D

Les montages de convertisseurs analogique-numérique sont aussi nombreux que les circuits proposés, multipliés par les types de microprocesseurs auxquels ils s'adressent. Le plus souvent, on aura intérêt à acquérir un circuit intégré convertisseur répondant aux spécifications de l'application et compatible avec le bus du système utilisé.

La figure 17 donne une telle application, et elle a surtout valeur d'exemple en ce sens que le convertisseur utilisé se connecte directement à un circuit d'entrées-sorties parallèles type PIA (le 6820) d'un système à microprocesseur 6800. Il peut être attaqué par une entrée analogique à évolution lente, ou précédé par le multiplexeur-échantillonneur-mémoriseur du schéma. Ce système, proposé par *Micro-Network,* accepte ainsi 16 canaux et convertit sur 12 bits les tensions d'entrée.

Les circuits nécessaires, le MN7130 qui sert de multiplexeur 16 voies (ou 8 voies différentielles) et le ADC80, convertisseur A/D sur 12 bits, sont tous deux en boîtiers DIL de 32 broches. Le système peut traiter 30.000 voies par seconde, avec un temps d'ouverture de 50 ns et une consommation de 2 W.

La gamme des tensions d'entrée est adaptable par câblage aux différents standards : ± 10 V, ± 5 V, ± ,25 V, 0 à 5 V ou 0 à 10 V. La résolution est de 12 bits, ce qui offre une excellente précision.

Dans le système utilisé ici, quatre bits d'un des deux ports du PIA sont réservés à l'adresse du canal sélectionné ; les quatre autres bits complètent les 8 du second port pour former le mot de 12 bits qui lira le résultat de la conversion. Les commandes sont programmées, en raison de la vitesse d'acquisition réalisée ; la ligne CA2 fournit l'impulsion de départ de la conversion, alors que le CB1, détecte la fin de conversion. Pour le reste, le montage est des plus classiques.

Le logiciel est, lui aussi très simple, tout en faisant intervenir une temporisation couvrant le temps d'acquisition (une dizaine de microsecondes).

CHAPITRE X

LE TÉLÉPHONE ET SES CIRCUITS. LES S.L.I.C.

Le téléphone constitue une voie importante de communication. On va en examiner ici les caractéristiques et les possibilités dans une double perspective : son électronisation (ou son informatisation), ses applications aux liaisons numériques. Les matériels spécifiques mis alors en jeu, modems, par exemple, feront l'objet d'études distinctes ; par contre, on examinera ici ce que sont les SLIC.

1. PRINCIPE

Le téléphone est bien connu, aussi est-ce assez rapidement qu'on va rappeler son fonctionnement. La figure 1 donne le principe d'un poste téléphonique, relié au central *PTT* par une ligne à deux fils. Cette ligne intervient comme une boucle de courant avec une composante continue de l'ordre de 35 mA, porteuse de la composante alternative due aux signaux actifs (parole, tonalité...) de l'ordre de 1 mA eff. Au repos, le combiné reposant sur l'appareil, la ligne est coupée en continu et seule la sonnerie (alternatif) reste en service. Le combiné étant décroché, la ligne est connectée à l'ensemble écouteur-microphone via le contact de repos du cadran.

Le central téléphonique détecte un appel par le passage du courant continu, l'alimentation de la ligne étant assurée par le central, et émet une tonalité en accusé de réception. L'envoi de chaque chiffre du numéro est assuré par le cadran sous forme d'impulsions à 10 hertz, avec ouverture de 66 ms et fermeture de 33 ms. Cela, dans le cas du téléphone « classique », appelé de toutes façons à se voir substituer des systèmes électroniques. Le tableau I résume l'état de la ligne selon l'étape de fonctionnement en cours, le poste étant supposé de référence *PTT, Socotel* S63.

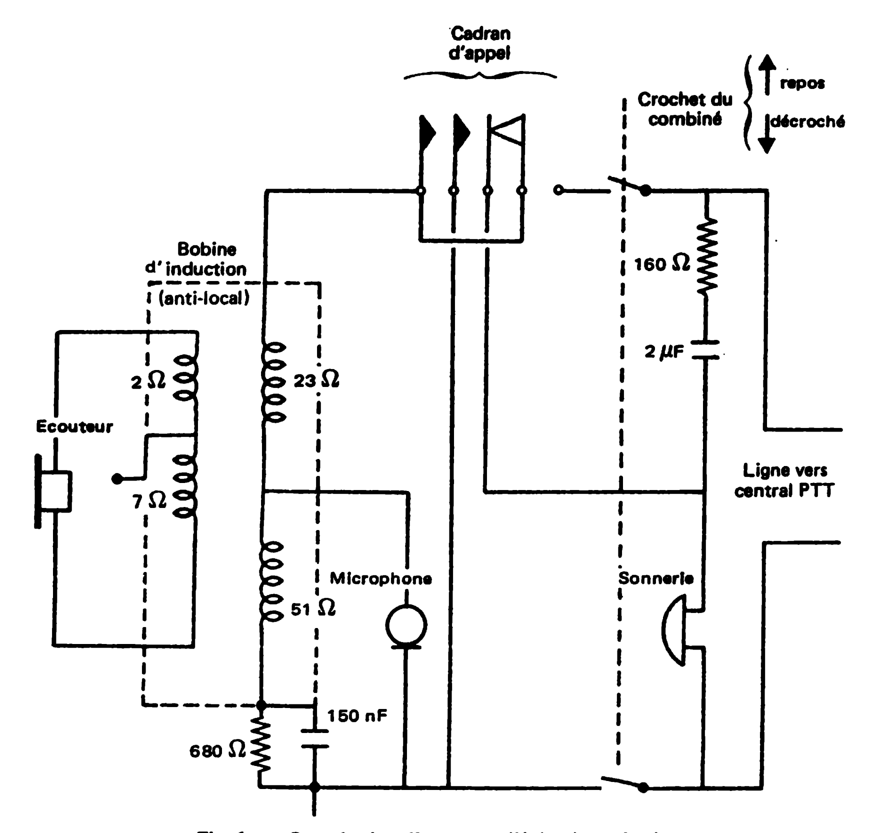


Fig. 1. — Organisation d'un poste téléphonique classique.

Conditions de fonctionnement	Etats de la ligne
Combiné non décroché (repos)	tension continue 48 V (aucun courant)
Réception d'appel (sonnerie)	tension alternative 70 à 100 V (50 Hz ou 25 Hz)
Combiné décroché (parole)	tension continue : 12 V, courant 35 mA
Combiné décroché (tonalité)	fréquence 440 Hz, tonalité intermédiaire : 330 Hz + 440 Hz
Combiné décroché (numérotation	coupure de ligne : 48 V, 0 mA court-circuit de ligne : ≤ 5 V, ≤ 35 mA

Tableau I. — Etats de la ligne téléphonique pour un poste normalisé Socotel S63.

2. LIGNE « PURES » ET PUPINISÉES

Revenons sur la ligne deux fils torsadés ; elle est dite « métallique » ou « pure » et se prête mal à la transmission de la parole car l'affaiblissement croît comme la racine carrée de la fréquence. La liaison ne peut excéder 20 à 40 km, selon le diamètre des fils.

Pour améliorer ses qualités, et rendre ses paramètres indépendants de la fréquence mais ce, ***dans une bande limitée,*** on insère à intervalles réduits des bobines à auto-induction, ou ***bobines de Pupin :*** on dit que la ligne est « pupinisée ». La distance entre bobines est de l'ordre de 1 à 2 km. La ligne se comporte alors comme un filtre passe-bas, avec une fréquence de coupure de l'ordre de 5 kHz, ce qui convient très mal aux liaisons numériques dès lors qu'on cherche à accroître la vitesse de transmission.

3. LIAISONS 2 ET 4 FILS

Afin d'amplifier les signaux circulant dans les deux sens, des *répéteurs* peuvent être introduits sur les lignes. Parce qu'il s'agit de dispositifs unidirectionnels, on est amené à séparer les deux sens de transmission ce qui implique une liaison à 4 fils (fig. 2). L'utilisation des lignes est alors meilleure de toutes façons, ce qui est sensible sur des distances moyennes ou grandes.

LIAISON 2 ET 4 FILS

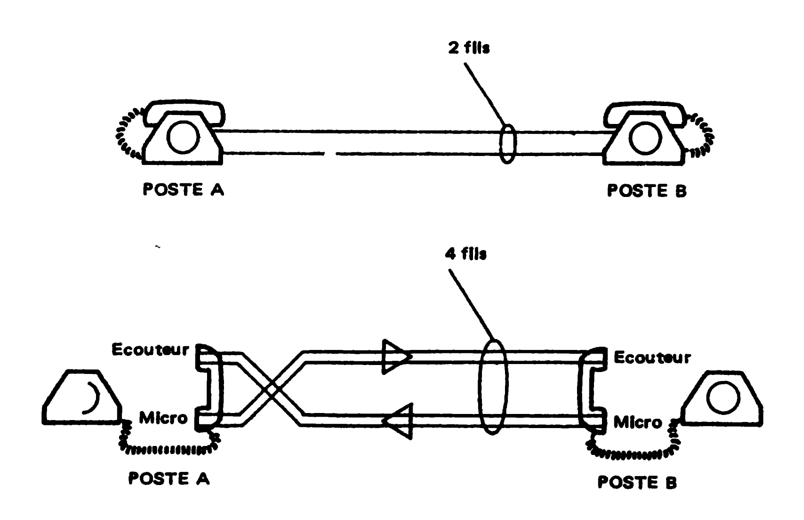


Fig. 2. — Principe des liaisons à deux ou quatre fils.

TRANSFORMATEUR HYBRIDE Il peut être alors nécessaire d'exécuter un passage deux fils à quatre fils (fig. 3). Cette fonction est confiée à un *transformateur hybride,* circuit linéaire passif qui doit adapter parfaitement les impédances (fig. 4).

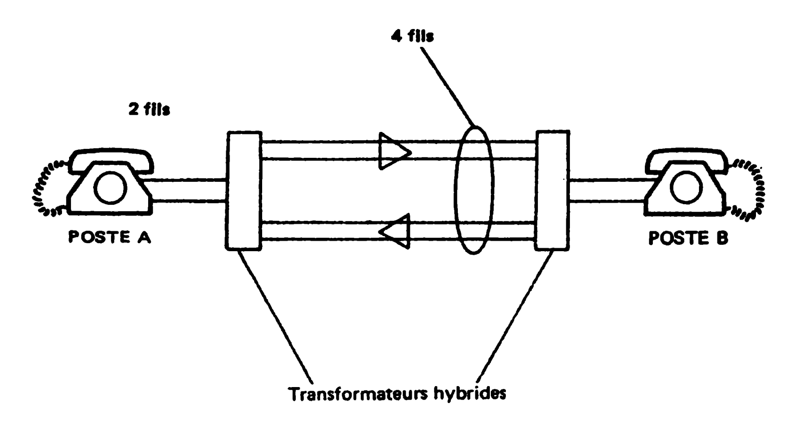


Fig. 3. — Intervention des « transformateurs hybrides » qui assurent la conversion deux et quatre fils.

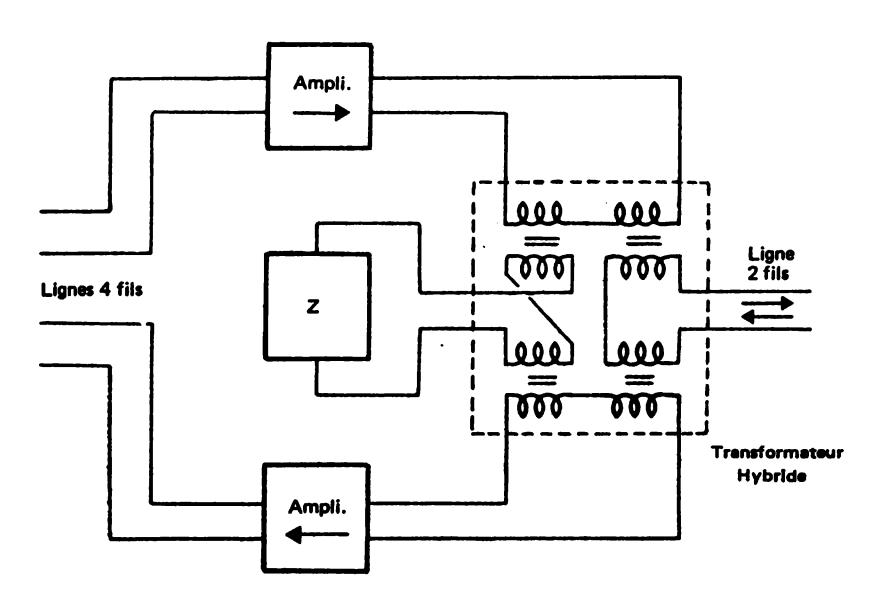


Fig. 4. — Structure d'un transformateur hybride.

4. LIGNES COMMUTÉES ET LIGNES LOUÉES

LIGNE COMMUTÉE Une liaison via le réseau téléphonique peut se faire via le réseau « commuté » classique. Au central téléphonique, des matériels spéciaux de commutation mettent en relation le poste appelant et le destinataire, ce qui est symbolisé figure 5 par une liaison passant par deux centraux. Il est évident que toutes ces commutations n'améliorent pas la qualité de la ligne.

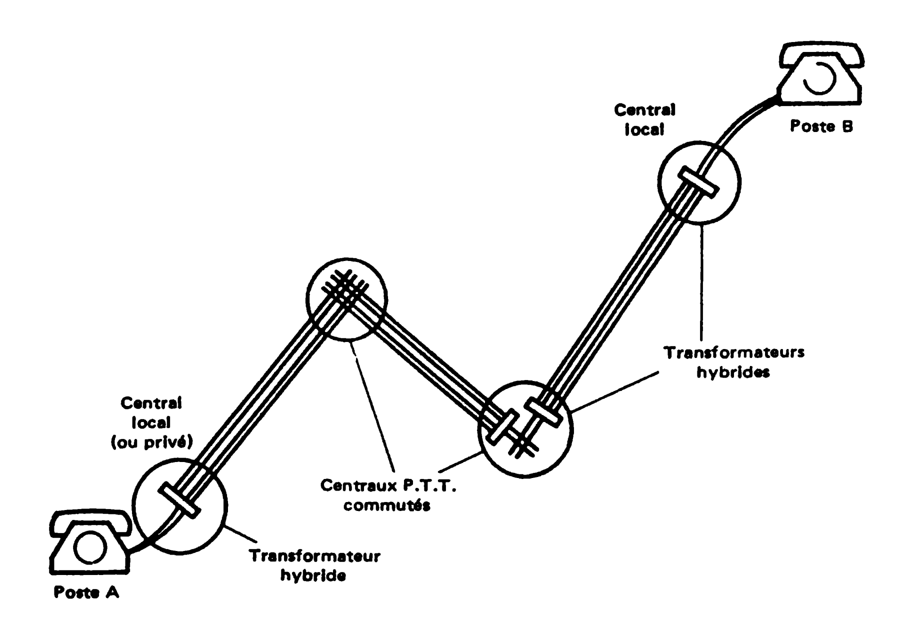


Fig. 5. — Exemple d'une liaison téléphonique passant par les commutateurs des centraux PTT.

Or, certaines applications imposent l'usage de lignes téléphoniques directes, établies de façon permanente. Ce sera par exemple le cas lorsque l'occupation des lignes et leur qualité sont élevées, lorsqu'on travaille en temps réel...

LIGNE LOUÉE On peut alors louer aux PTT des lignes spécialisées, dites *lignes louées,* qui passent par les centraux mais ne sont pas commutées (fig. 6) et sont à 2 ou 4 fils.

Une ligne louée 4 fils permet de travailler directement en duplex. Ses qualités sont constantes et, si le trafic est suffisant, elle est plus économique à l'usage qu'une ligne commutée compte tenu de la tarification en vigueur.

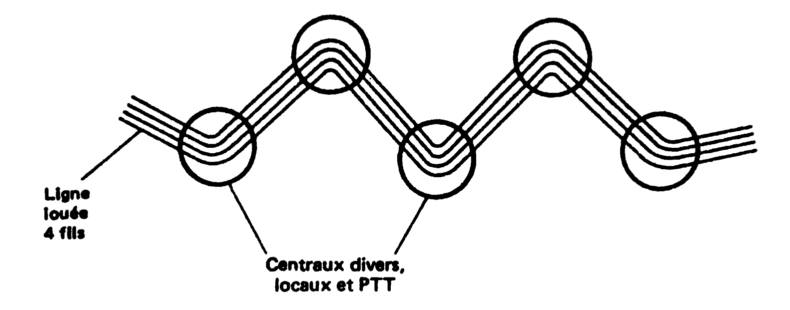


Fig. 6. — Une ligne louée, privée, passe aussi par les centraux PTT mais n'est plus commutée.

5. LIGNE EN BANDE DE BASE

On dit d'une liaison par ligne qu'elle est en *bande de base* lorsqu'elle est assurée par des lignes métalliques pures, c'est-à-dire non pupinisées, qu'elles soient à deux ou quatre fils.

De telles lignes ne comportent aucun équipement supplémentaire, sauf des amplificateurs (en quatre fils) pour des distances moyennes ou grandes, et leur portée dépend bien évidemment du diamètre des fils utilisés. Travailler en « bande de base » signifiera alors simplement qu'on exploite directement la bande passante de la ligne, laquelle disposera alors très largement de dizaines de kilohertz.

BANDE DE BASE

6. LE MULTIPLEXAGE

Afin de faire transiter par une unique ligne non plus une, mais plusieurs communications, on multiplexe celles-ci. Le multiplexage est effectué spatialement (en fréquence) ou temporellement (dans le temps).

6.1. Multiplexage en fréquence

Supposons qu'une voie téléphonique occupe au total 4 kHz. Si la ligne admet une bande passante importante, on pourra loger une première communication de 0 à 4 kHz, une seconde de 4 à 8 kHz, une troisième de 8 à 12 kHz, etc. Chaque voie est alors centrée sur une fréquence centrale bien définie par un *modulateur de voie ;* à la réception, des filtres séparent les voies.

MULTIPLEXAGE SPATIAL

C'est ce processus qu'on définit par *multiplexage en*

fréquence, ou *spatial* puisque toutes les fréquences sont transmises simultanément sur un spectre très vaste. Une hiérarchie téléphonique a ainsi pu être définie dans laquelle chaque unité comprend un nombre entier de voies qui double d'un échelon à l'autre ; on associe à chaque niveau une *bande de base* et un *pilote* auquel on confie des fonctions de service (réglages, maintenance,...). Le tableau II donne la hiérarchie recommandée par le *CITT* et adoptée en France.

Groupe	Nombre de voies téléphoniques	Facteur de multiplication	Bande de base (kHz)	Fréquence du pilote (kHz)
Primaire (GP)	12	–	60 à 108	84 + 0,14 ou 84 + 0,08 ou 104,08
Secondaire (GS)	60	5	312 à 552	412 – 0,14 ou 412 – 0,08 ou 547,92
Tertiaire (GT)	300	5	812 à 2044	1552
Quaternaire (GQ)	900	3	8516 à 12 388	11 096

Tableau II. — Hiérarchie des multiplex analogiques.

6.2. Multiplexage temporel

MULTIPLEXAGE TEMPOREL La formule la plus évoluée consiste à passer par un *multiplexage dans le temps,* le signal analogique de la parole ayant au préalable été converti en numérique après échantillonnage. On véhicule ainsi des impulsions codées, d'où le nom très général attribué à ce principe de MIC, pour « modulation par impulsions codées ». Ce thème est développé dans un chapitre spécial en raison de son importance.

La figure 7 montre comment l'on peut multiplexer 4 voies d'entrée, pour une sortie, avec un unique circuit intégré. L'adresse est appliquée sur deux lignes, décodées pour qu'une seule porte ET soit débloquée pour chaque combinaison d'entrée.

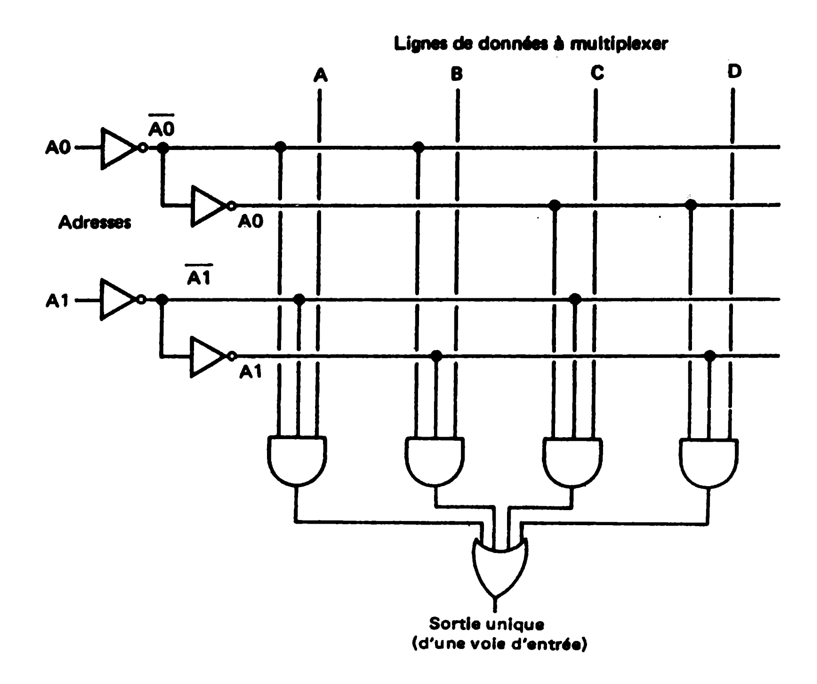


Fig. 7. — Exemple d'un multiplexeur 4 voies, réalisé en un unique circuit intégré.

INTENSITÉ ET VOLUME DU TRAFIC : L'ERLANG

• L'*intensité* du trafic acheminé se mesure en « erlangs », unité du nom d'un ingénieur danois, Erlang (1879-1929), qui a été parmi les premiers à procéder à des études sur le trafic téléphonique.
Cette intensité exprime, en téléphonie, *le nombre moyen d'appels pendant un temps déterminé.* Pour des mesures d'intensité de trafic, elle définira *le nombre moyen de connexions simultanées observées pendant la période de mesure.*

• Le *volume du trafic est le produit de l'intensité par la durée d'occupation. Il représente le total des durées d'occupation pendant la période considérée. Par exemple, ce sera le nombre d'appels multiplié par leur durée et divisé par l'unité de durée :* un appel-heure par heure, ou *n* appels-minutes par minute.

7. LE TÉLEX

Le *télex,* ou réseau télégraphique commuté, assure une connexion temporaire entre des terminaux qui sont des télé-imprimeurs. L'échange donne naissance à des documents imprimés. L'appel se fait au clavier, ou à l'aide d'un cadran dans certains pays, et la vitesse de la liaison est de 50 ou 200 bauds ; elle recourt à l'alphabet normalisé n° 2 du CCITT.

8. APPEL MULTIFRÉQUENCE

Avec le téléphone classique, le fait de former un numéro au cadran se traduit par l'émission d'impulsions, à la cadence de 10 impulsions par seconde. L'intervalle entre deux chiffres successifs doit être au moins de 600 ms pour que le central puisse différencier les deux combinaisons sans les mélanger. Par

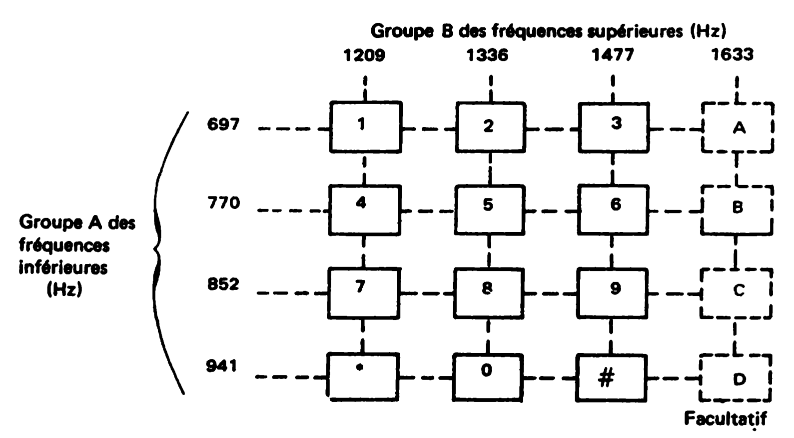


Fig. 8. — Appel multifréquence : la distribution des groupes.

Fréquences hautes → / Fréquences basses ↓	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz
697 Hz	1	2	3
770 Hz	4	5	6
852 Hz	7	8	9
941 Hz	*	0	#

Tableau III. — Combinaisons en appel à double ton.

conséquent, la formation d'un numéro d'appel « moyen » sur 7 chiffres demandera environ :
— Pour un chiffre de 5 impulsions : 0,50 s ;
— Il s'y ajoute un intervalle de 0,6 s soit au total 1,1 s ;
— Et pour 7 chiffres : 7,7 s.

L'émission, mécanique à l'origine, peut être exécutée à l'aide de circuits électroniques qui respectent ces règles de base, chaque impulsion de 36 à 42 ms de durée devant être suivie par un intervalle de 58 à 64 ms pour une durée totale de la période de 100 ms.

DTMF APPEL À DOUBLE TON Cette procédure classique peut être remplacée par le principe appelé *double ton,* ou à double fréquence d'appel, et plus communément désigné par son sigle américain DTMF, pour *Dual Tone Multi Frequency.*

On utilise ici deux séries de fréquences fixes ; le groupe des fréquences *basses* comporte quatre fréquences et celui des fréquences *hautes,* trois. Chaque code du cadran provoque l'émission simultanée de deux fréquences, une pour chaque groupe, et de ce fait douze combinaisons peuvent être formées. C'est ce que montrent la figure 8 et le tableau III.

Les fréquences doivent être précises à mieux de 1,5 % ; la durée minimale du signal émis est de 50 ms avec séparation d'au moins 45 ms, selon les normes proposées par les *Bell Laboratories* (groupe *ATT*). Ainsi, l'émission de un

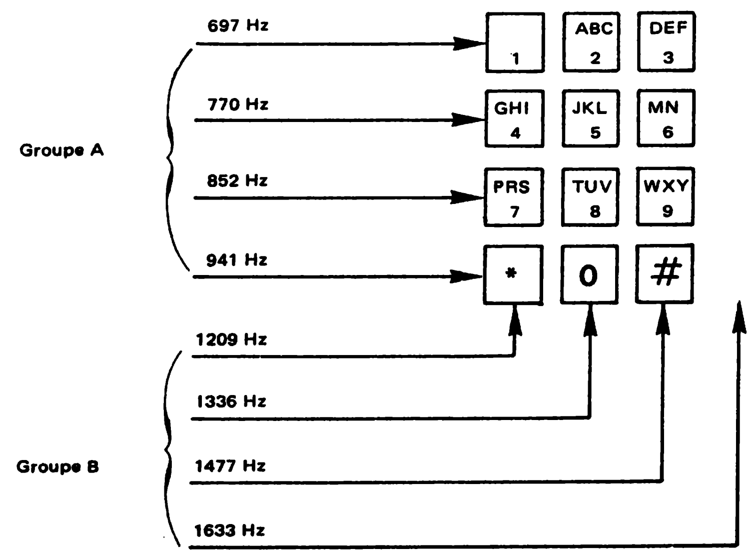


Fig. 9. — Correspondance entre tons en bi-fréquence et cadran traditionnel.

digit représente à peu près 100 ms, soit dix fois moins qu'avec l'émission d'un train d'impulsions. La recommandation *CCITT* correspondante est la Q23. Là figure 9 donne la correspondance entre les fréquences et la numérotation traditionnelle du cadran.

9. CIRCUITS D'INTERFACE POUR BOUCLE D'ABONNÉ : LES SLIC ET BORSHT

Afin de servir d'interface entre le terminal d'abonné et la ligne allant vers le central, des circuits spécialisés ont été conçus, principalement sous le nom de SLIC (« *Subscriber Loop Interface Circuit* », soit :
SLIC circuit d'interface pour boucle d'abonné).

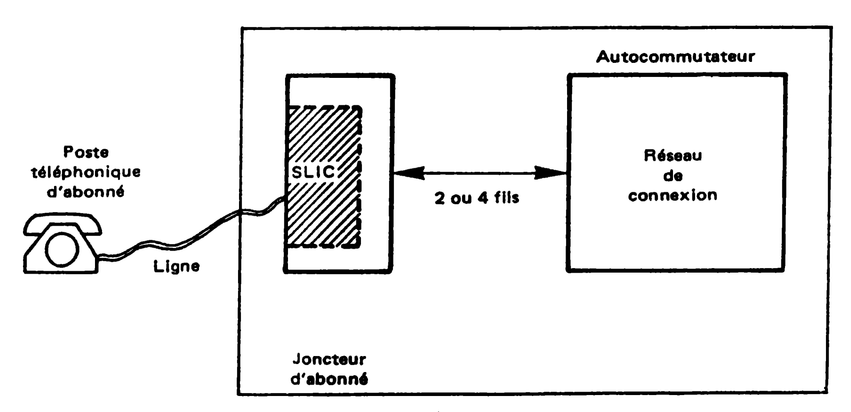


Fig. 10. — Où se place le SLIC dans la chaîne du téléphone.

Un SLIC constitue un sous-ensemble du joncteur d'abonné. Dans le central téléphonique, le joncteur assure l'interface entre le réseau de connexion et la ligne d'abonné (fig. 10). Les principales fonctions qu'il doit assurer sont :

- L'alimentation de la ligne, à partir de la batterie centrale (48 V), avec possibilité de travailler en « suralimentation ».
- L'inversion de batterie.
- La supervision de l'état de boucle.
- L'injection du courant de sonnerie.
- La protection contre les surtensions et tensions en ligne aux accès du joncteur.
- La conversion deux fils à quatre fils.
- La signalisation hors bande.
- Le test de la ligne et du joncteur.

Le SLIC prend alors en charge tout ou partie de ces fonctions, exécutées classiquement par un ensemble de circuits électroniques à composants discrets, dans 90 % des cas, transposés en hybride dans la quasi totalité des 10 % restants (jusqu'en 1980). En fait, le nom de SLIC est réservé aux circuits hybrides, mais surtout monolithiques demain, et l'on a même parfois décrit le SLIC comme un « joncteur électronique ».

L'intégration du SLIC a été étudiée à partir de 1977, les premiers circuits étant essentiellement destinés aux centraux électroniques privés (« PBX » : « *private branch exchange* »). Mais très vite, on s'est aperçu qu'ils conviendraient parfaitement aussi bien aux marchés privés que publics et à partir de 1979, les travaux se sont orientés dans deux directions principales :

1. La suppression du transformateur différentiel chargé de convertir les lignes 2 fils - 4 fils jugé encombrant. C'est ce à quoi se sont très rapidement attachés les fabricants de circuits intégrés, mais parce que les courants et tensions sont élevés, force a été de recourir aux technologies bipolaires.

2. La réduction de la puissance dissipée par le joncteur et par la ligne, vœu très cher des téléphonistes, via des techniques de conversion continu-continu en flottant, ou d'alimentation à courant constant en jouant sur les gains.

BORSHT A l'appellation de SLIC, les téléphonistes préfèrent d'ailleurs celle de BORSHT qui est pratiquement presque synonyme (car la notion de SLIC a très rapidement évolué dans le temps). BORSHT provient des initiales des mots résumant ses fonctions, soit : « *Battery, Overvoltage Protection, Ringing, Supervision, Hybrid, Test* », avec :

— *Batterie,* pour préciser qu'il assure l'alimentation, *avec inversion,* autrement réalisée par transformateur et relais.
— *Overvoltage protection,* pour dire que le circuit assure la *protection contre les surtensions,* classiquement assurée par l'introduction d'un parafoudre ou d'un éclateur à gaz en parallèle sur la ligne.
— *Ringing,* pour sonnerie : c'est le circuit de détection de sonnerie sur la ligne d'abonné.
— *Supervision,* pour les informations vers le central, le signal de télétaxe...
— *Hybride,* pour la transformation 2 et 4 fils.
— *Test,* pour le test du joncteur et, éventuellement, de la ligne.

Ce qu'on ne sait pas intégrer, en effet, c'est l'ensemble des dispositifs de protection chargés d'éliminer des énergies parfois importantes induites dans les lignes (coups de foudre, courts-circuits, etc.).

De ce qui précède, on peut donc juger qu'il faut un SLIC par ligne d'abonné, tous ces circuits étant regroupés dans le central, public ou privé. Il s'y ajoute, dans le poste d'abonné lui-même, un autre circuit qu'on peut

CAIL considérer comme la partie duale du SLIC, le « CAIL », *« circuit analogique d'interface de ligne »* qui, recevant le courant d'alimentation de la ligne, gère et pourvoit à toutes les autres fonctions. Ainsi, il est prévu que le poste d'abonné de référence T83, électronique, qui devrait être commercialisé en 1983, pourra comprendre un CAIL ; ce poste fonctionnera en numérotation décimale ou à double ton (« DTMF » : *Dual Tone Multi Frequency*).

BORSCHT A ces multiples signes, on en ajoutera encore un dernier (provisoirement), utilisé par G. Ferrieu, de la société *Télécommunications Radioélectriques et Téléphoniques (TRT)* à qui l'on doit l'étude d'un SLIC « universel » qui devait être produit par *Matra-Harris Semiconducteurs,* celui de B O R S C H T , avec un C supplémentaire. Il est donné pour des fonctions de *Commandes,* mais on pourrait lui attribuer aussi le mot *Codec (codeur-décodeur)* dans les applications à la téléphonie numérique ; en effet, un codec pourrait aussi être inclus dans le SLIC, mais dans un futur hypothétique.

TSAC Mentionnons encore un sigle (mais on peut supposer qu'il en naîtra encore), celui de TSAC, pour *"Time Slot Assigner Circuit",* soit *circuit d'affectation d'intervalles de temps.* C'est un circuit serveur pour modulation MIC, dont le type est le 14416, ou encore les 14417 et 14418 de *Motorola.*

FONCTIONS DE JONCTION POUR ABONNÉ NORMAL

- **Alimentation du combiné, en 0 et −48 V, ou en +48 et −48 V, soit 96 V, pour les lignes longues (« suralimentation »).**
- **Signalisation d'appel (« sonnerie »), en 25 Hz ou 50 Hz et sous 80 V eff au central.**
- **Signalisation de prise (« décrochage ») : le courant ligne passe alors de quelque 2,5 mA à plus de 15 mA.**
- **Signalisation d'aiguillage (« numérotation »), en « décimal » ou en multifréquence (« DTMF »).**
- **Transmission du signal de parole.**
- **Conversion 4 à 2 fils.**
- **Maintenance (avec renvoi sur appareil de mesure).**
- **Protection contre les surtensions et les surintensités.**

Un SLIC, c'est donc un circuit intégré en boîtier à double rangée de connexions, de 18 à 24 broches, au moins dix fois moins volumineux que les circuits discrets qu'il remplace, relais et transformateurs compris. On y gagne donc en compacité, en consommation, en facilité de ventilation ou d'accès, en fiabilité, en maintenabilité, etc. Il faut noter que si, au départ, le SLIC ne fait que se substituer à des circuits existants, il a toutes chances d'intervenir très fortement dans l'évolution des circuits de commutation *numérique* de par ses possibilités intrinsèques, en apportant, par exemple, une correction de paramètres transmis, en établissant des états de veille afin de réduire la consommation, en offrant même des caractéristiques programmables et des fonctions de commande, d'annulation d'écho, etc.

Il peut, en effet, aussi bien intervenir dans les systèmes spatiaux (les communications sont multiplexées en fréquence) que temporels (les communications sont numérisées en « modulation par impulsions codées », ou MIC, et multiplexées dans le temps).

Contrairement aux Codecs, généralement en technologies MOS, les SLIC sont bipolaires car ils doivent à la fois traiter des courants de plusieurs dizaines de milliampères et des tensions excédant la centaine de volt. Au minimum, ils devront pouvoir supporter 150 V mais certains fabricants estiment qu'il faut aller bien au-delà ; ainsi, *Harris* a développé une technologie à isolement diélectrique acceptant 200 V et travaille sur une technologie 300 V.

Le marché est immense ; si, en 1980, les joncteurs utilisaient moins de 1 % de SLIC en monolithique, il suffit d'imaginer combien il pourra en être vendu si l'on monte un SLIC par nouvelle ligne d'abonné. En 1987, on estime que le marché *annuel* sera de 3 millions de pièces pour la France, de 14 millions pour l'Europe.

Un bilan financier global résultant de l'introduction des SLIC devrait faire intervenir, outre le prix évolutif du composant, le gain en volume et matériels, par exemple, en cartes, bâtis et mètres carrés au sol... Rappelons, à ce propos, que le joncteur représentait, en 1980, quelque 40 % du prix d'un central téléphonique ; si l'on exprime son prix *par ligne d'abonné,* on espérait pouvoir l'abaisser du tiers avec l'usage des SLIC.

Qui produit des SLIC ? Nombreux sont les fabricants à se porter candidats ; un pointage rapide faisait ainsi apparaître en 80-81 les noms de *AMD,* travaillant avec *LME (Ericsson) ; Harris* ainsi que *MHS* par conséquent avec, au programme, un SLIC I prévu avec un « grand » européen, un SLIC II étudié avec *TRT,* et même un SLIC III pour un très proche avenir ; *Motorola* qui échantillonnait son MC3419 fin 80, *ITT Micro Systèmes* qui avait déjà fourni des milliers de SLIC en hybride à l'industrie ; *SGS-Ates ; Siemens* avec le « G150 » en boîtier 24 broches, à isolement par jonction et ajustage laser ; *Texas Instruments* qui pensait à la technologie BIDFET (bipolaire, plus DMOS, plus CMOS) mais aussi à inclure du logiciel dans le circuit afin de l'universaliser, *Western Electric, Thomson-Efcis, Signetics ; National Semiconductor* à la suite d'accords croisés avec *Harris* et par suite, *Eurotechnique*

•

Marché des SLIC

(en millions de pièces)

Année	1983	1984	1985	1986	1987
USA	5	6	7	8	9
Europe	6	7,5	9	11	14
Reste du monde	4	5	6	8	10
Total	15	18,5	22	27	33

qui, de toutes façons, étudiait également des SLIC avec des groupes français ; sans oublier les *Bell Laboratories*. Nombreux sont cependant les produits qui n'étaient annoncés, certains partiellement ou totalement encore en hybride, d'ailleurs, en 80-81.

10. EXEMPLE DE CIRCUITS

En France, *TRT* a étudié un SLIC avec *Harris* qui devait être produit par la récente usine *MHS (Matra-Harris-Semiconducteurs)* inaugurée fin 80 à Nantes. Conçu comme un produit standard, ce SLIC se veut un produit répondant aux besoins du marché mondial (environ 10 millions de lignes par an...). Nécessitant quelques composants externes, il est à sonnerie programmable (quelle qu'en soit la fréquence, celle-ci passant de 50 à 25 Hz en France, les USA utilisant de 16 à 66 Hz). Il sera réalisé en technologie à isolement diélectrique et parfaitement équilibré du point de vue électrique, ce qui n'était pas la moindre des difficultés à surmonter.

Il consiste essentiellement en une paire symétrique d'amplificateurs push-pull commandés par deux décodeurs à modulation delta (variante de la MIC ou c'est la *pente* qui est codée sur un bit), opérant à 100 kHz (fig. 11). Le courant émanant des deux sorties du circuit vers la boucle d'abonné est appliqué à un sommateur ; simultanément, la chute de tension qu'il provoque aux bornes d'une impédance donnée est mesurée ; ces éléments servent à créer une contre-réaction efficace quelle que soit l'impédance de la ligne. En interne, huit points servent aux tests, lesquels peuvent être exécutés selon 44 conditions.

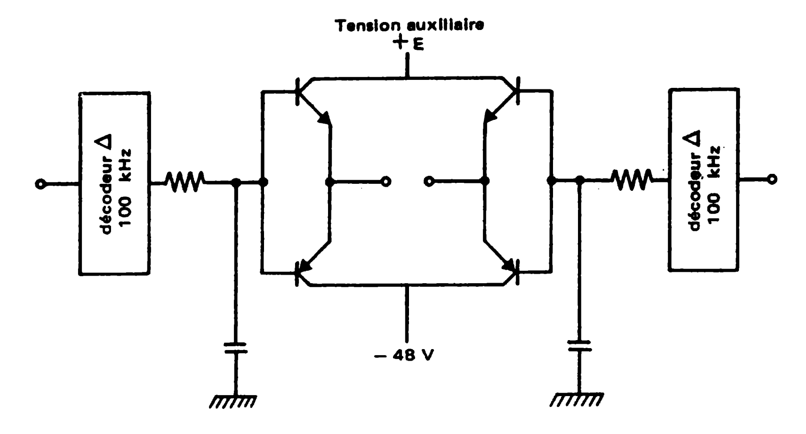


Fig. 11. — Principe des amplificateurs symétriques avec leurs décodeurs delta du SLIC de TRT-MHS.

Ce SLIC dit de la seconde génération consommerait au maximum de 1 à 2 W, la puce mesurerait 2,5 par 2,5 mm, contiendrait une centaine de transistors, supporterait des surtensions de 1 kV et fournirait une atténuation de mode commun de 60 dB.

Le SLIC de *Motorola,* échantilloné en 1980, est dessiné figure 12 avec ses composants externes. Ceux-ci comprennent essentiellement les amplificateurs de ligne et des circuits de protection, un pont de diodes, ainsi que des Darlingtons amplifiant le courant de ligne, et qui ne pouvaient être intégrés : ils peuvent fournir jusqu'à 120 mA et 6 W. De référence MC 3419, ce SLIC est alimenté sous 48 V (il accepte de – 20 à – 56 V) et il consomme moins de 10 mW en position d'attente ; il est en boîtier 18 broches.

11. Autres circuits spéciaux

L'électronique a tout d'abord participé à la réalisation des centraux téléphoniques de l'Administration ou privés. Longtemps mécaniques, les postes d'abonnés s'électronisent à leur tour. Sont actuellement utilisés des circuits intégrés spécifiques mais d'ores et déjà, on s'oriente vers les systèmes à base de microprocesseurs. Il ne s'agirait donc plus seulement d'une électronisation mais d'une informatisation.

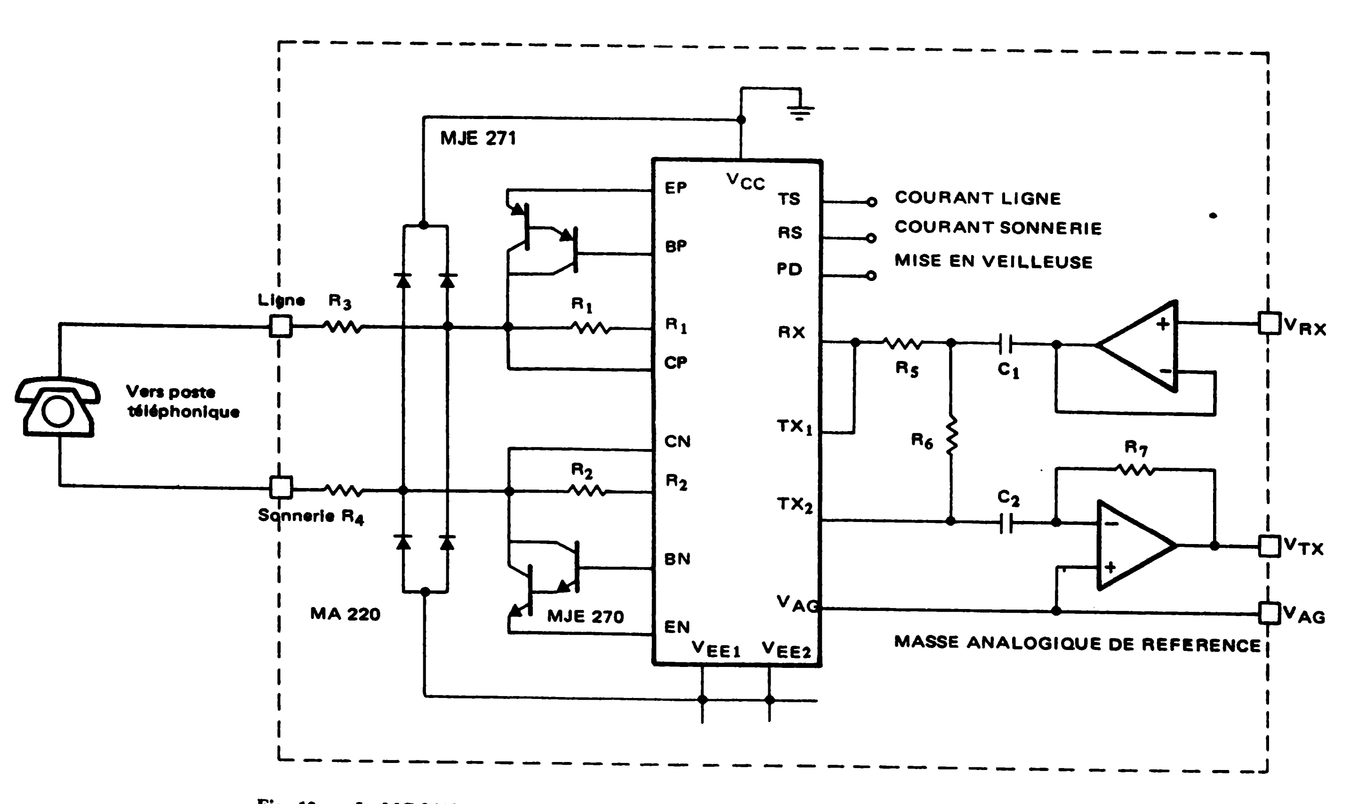


Fig. 12. — Le MC 3419 de Motorola : montage. Les circuits de protection sont en composants discrets (à gauche).

Quelles fonctions mécaniques peut-on remplacer par de l'électronique ? Essentiellement, il s'agira :

— *De la numérotation décimale* pour postes à touches numériques.
— *De la numérotation multifréquence* (à clavier aussi, par conséquent).
— *Du « répertoire » électronique.*
— Et encore probablement de bien d'autres fonctions, amplification, calcul des taxes, etc. à l'avenir.

On va en présenter ici quelques exemples, immédiatement applicables. Cependant, des fonctions très spéciales telles que celles assurées par les CODEC seront étudiées séparément.

Numérotation multifréquence

Ce type de numérotation se généralisera de plus en plus avec l'avènement des autocommutateurs modernes. Il est caractérisé par l'émission sur la ligne, par le poste de l'usager, d'un signal composé de deux fréquences, l'une parmi le groupe des fréquences *hautes*, l'autre parmi le groupe des fréquences *basses*. Ce principe de numérotation est bien plus rapide et fiable que la séquence d'impulsions décimales.

La figure 13 montre le synoptique d'un circuit intégré spécial chargé d'élaborer les fréquences commandées par un clavier. Il s'agit du circuit AY-3-9400 de *General Instrument* (ou *GI*, firme dont les produits ont ici été pris en exemple ; on trouvera des circuits de mêmes fonctions chez une dizaine d'autres fabricants au moins...). Ce circuit est élaboré autour de synthétiseurs numériques de fréquences, suivis par des convertisseurs numérique à analogique.

Répertoire téléphonique

Les utilisateurs souhaitent souvent que les numéros fréquemment utilisés puissent être composés rapidement et parfois même automatiquement (alarmes, secours, pour personnes âgées ou aveugles) ; il suffit alors d'adjoindre une mémoire supplémentaire aux composeurs de numéros, qu'ils soient décimaux ou multifréquence. C'est ce que fait le circuit AY-5-9200 (fig. 14). Les numéros sont enregistrés sous forme de 10 files de 22 chiffres ou signes et sont restitués sur demande ; plusieurs circuits peuvent être mis en parallèle, ils augmentent la capacité d'appel.

Le AY-5-9200 a besoin de 2,25 mW pour maintenir sa mémoire. Mais probablement l'usage de la technique EAROM qui permet la réalisation de mémoires permanentes, avec inscription et effacement électriques, pourra être utilement exploitée pour réduire la consommation.

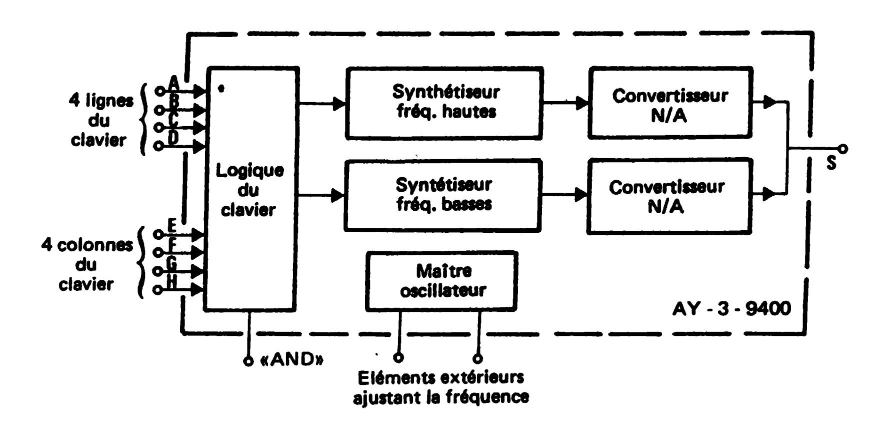


Fig. 13. — Structure d'un circuit générateur de fréquences pour téléphone bi-fréquence.

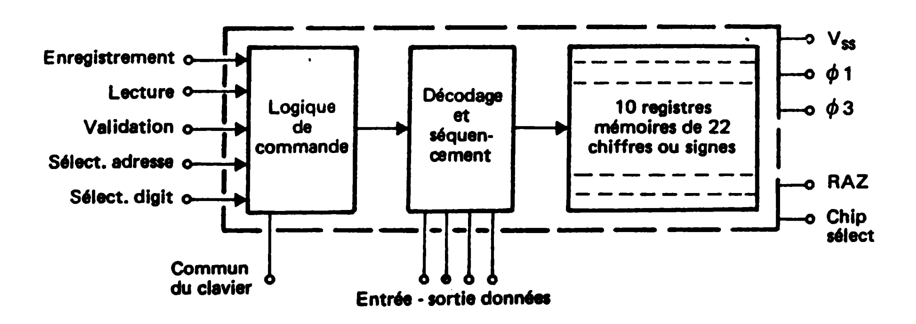


Fig. 14. — Organisation d'un « répertoire » téléphonique mémorisant 10 numéros de 22 chiffres ou signes.

Détecteur de double fréquence

La numérotation en double fréquence ayant été émise, elle doit être reconnue à la réception et pour cela, *Rockwell-Collins* a réalisé le CRC 8030. Associé à un ensemble filtre-limiteur, ce circuit intégré constitue un récepteur complet. Son action est fondée sur l'usage d'un filtre numérique algorithmique interne qui reconnaît les fréquences et active les sorties correspondantes (fig. 15). Pour exécuter la même tâche, d'autres fabricants exploitent des filtres actifs.

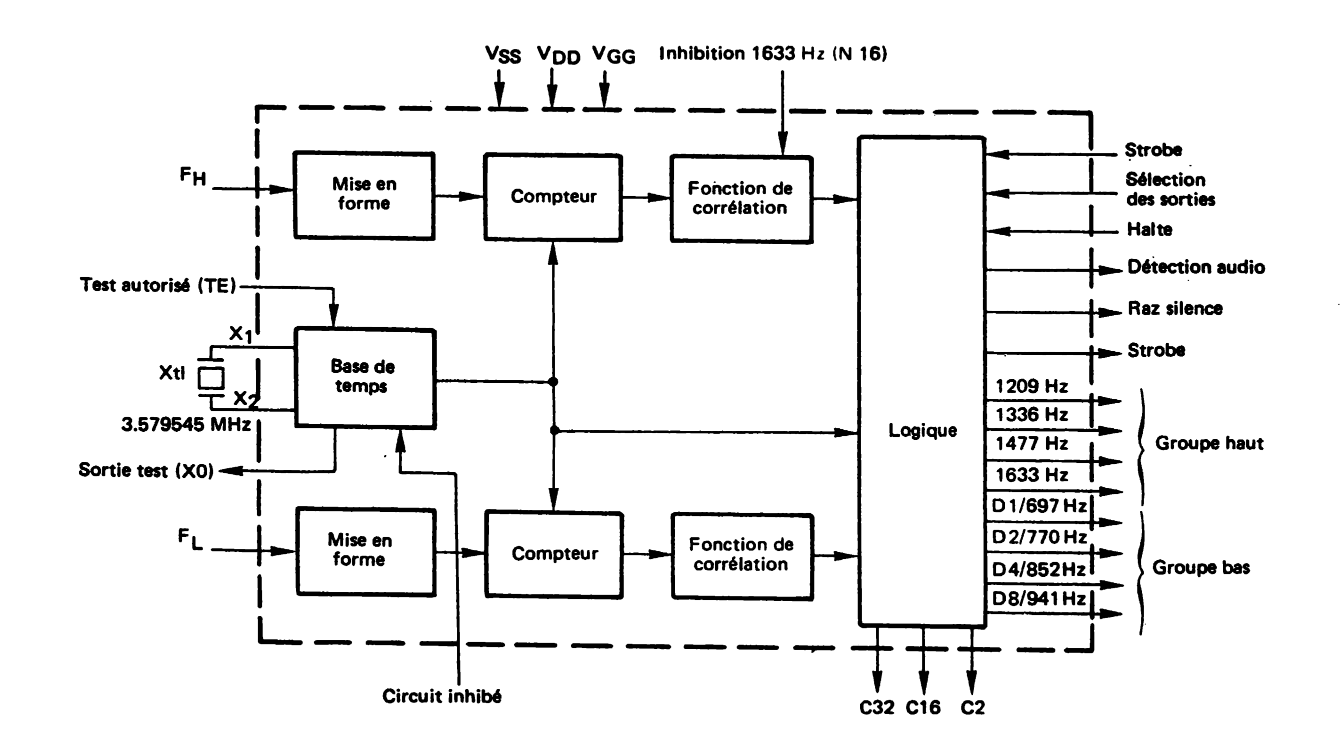


Fig. 15. — Le récepteur double ton CRC 8030.

CHAPITRE XI

LES MODEMS

Contraction de « modulateur-démodulateur », le modem intervient entre un terminal et une ligne de communication. En voici les fonctions et les caractéristiques.

1. RÔLE DES MODEMS

Lorsqu'on veut transmettre des informations numériques sur des distances importantes, au-delà du kilomètre, par exemple, on peut employer des *voies téléphoniques.* Cependant, les données numériques ne sont pas directement acceptées par les lignes téléphoniques, conçues pour transmettre la voix sur un spectre de fréquences s'étendant de 300 Hz à 3300 Hz environ. Par conséquent, il faut passer, par un *adaptateur,* aussi bien à l'émission qu'à la réception, qui rend compatibles les informations *et* la voie de transmission. On l'appelle *modulateur* à l'émission et *démodulateur* à la réception, eu égard à ses fonctions.

Les échanges pouvant être bidirectionnels, on associe en une seule unité ce *modulateur* et ce *démodulateur.* Le *Comité Consultatif International des Téléphones et Télégraphes* (CCITT) a normalisé le nom d'un tel appareil : « MODEM », contraction de MODulateur-DEModulateur.

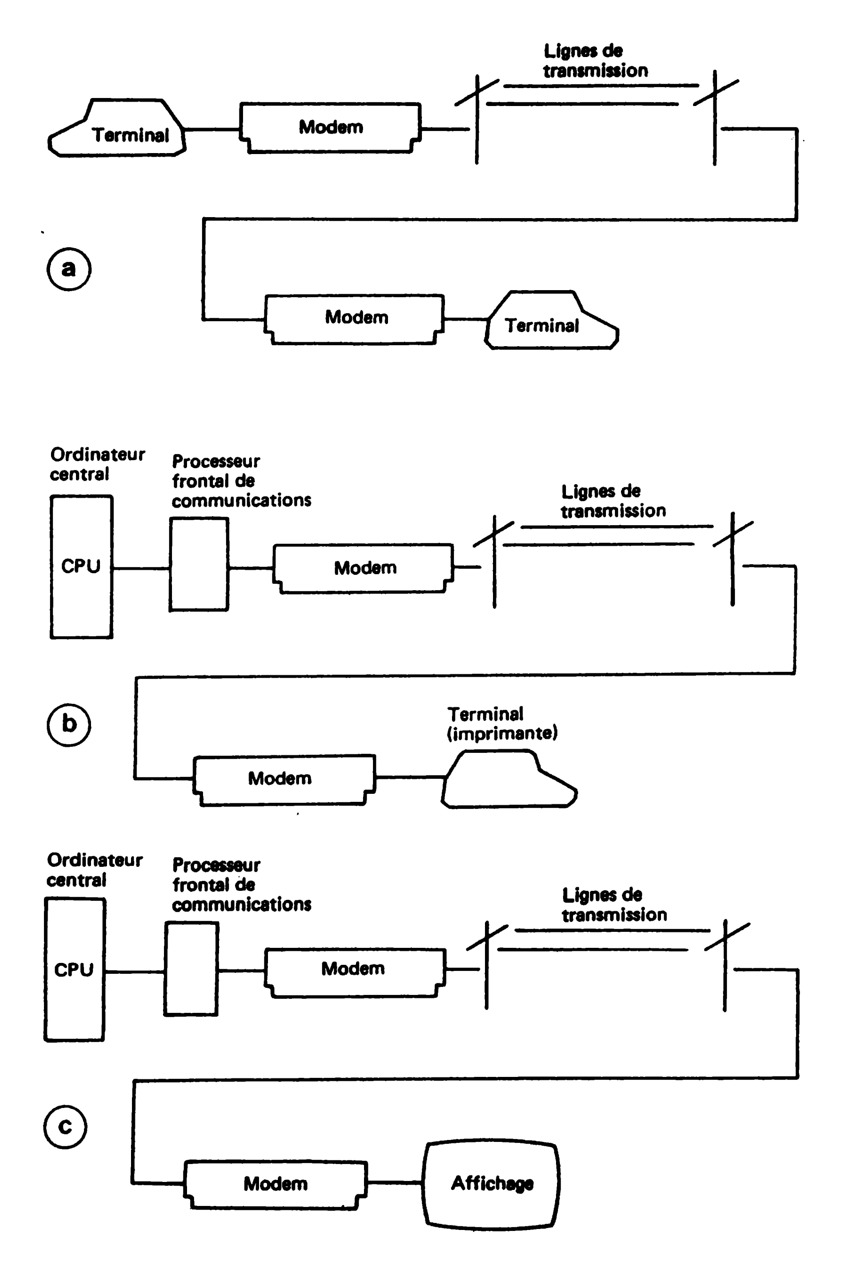


Fig. 1. — Principe de l'intervention des modems : ils servent d'interface entre les terminaux ou ordinateurs et la ligne de transmission. Trois exemples en sont donnés ici.

L'intervention des modems dans une liaison est située par la figure 1. A l'émission, le modem reçoit des information numériques, les convertit en un code qu'accepte la ligne téléphonique et les transmet ; à la réception, le modem reçoit l'onde modulée transmise par la ligne téléphonique, la décode et reconstitue le train numérique d'origine qu'il fournit à son destinataire.

Les modems se différencient par leur *vitesse de fonctionnement ;* quelques valeurs typiques sont de 133 bits par seconde, 200, 300, 600, 1200, 2400, 4800 et 9600 bits par seconde. Ils se distinguent aussi par leur *mode de liaison,* à deux ou quatre fils. D'autre part, certains modems n'acceptent que des codes déterminés alors que d'autres les acceptent tous et sont « transparents » à l'utilisateur ; ils peuvent ou non fournir la synchronisation, être associés à un poste téléphonique, participer à la protection contre les erreurs, comporter un multiplexeur... Autant dire qu'il en existe de très variés, produits principalement par des sociétés spécialistes des télécommunications, des fabricants d'ordinateurs ou des spécialistes de l'automatisation.

2. MONTAGE SUR RÉSEAU COMMUTÉ

La liaison entre modems peut se faire via des lignes louées, donc permanentes, ou via le réseau commuté. Dans ce dernier cas, un relais situé dans le modem relié à la ligne téléphonique commande la commutation modem-téléphone vocal normal (fig. 2) ; ainsi, le passage d'un état à l'autre se fait sans coupure de la ligne, et ce de la façon suivante.

Pour établir une liaison, l'opérateur forme au cadran le numéro du destinataire ; après connexion avec le modem destinataire qui émet une tonalité propre, il passe en transmission de données.

RÉPONSE AUTOMATIQUE Ces fonctions peuvent être automatisées ; c'est ce qu'on appelle la *réponse automatique.* Les signaux échangés ont fait l'objet d'une normalisation *CCITT,* avis V-24, peu différent de la norme RS-232 de l'*EIA (Electrical Industry Association)* américaine, présentés par ailleurs.

3. LES TECHNIQUES DE MODULATION

Le modem émet une onde porteuse, modulée selon trois techniques qui sont : la *modulation d'amplitude,* la *modulation de fréquence,* ou la *modulation de phase.*

MODULATION D'AMPLITUDE — ASK — En modulation d'amplitude (notée AM), c'est l'amplitude de l'onde porteuse qui varie (fig. 3). Dans le cas le plus simple, on commute ainsi sur deux amplitudes selon qu'on veut traduire un 0 ou

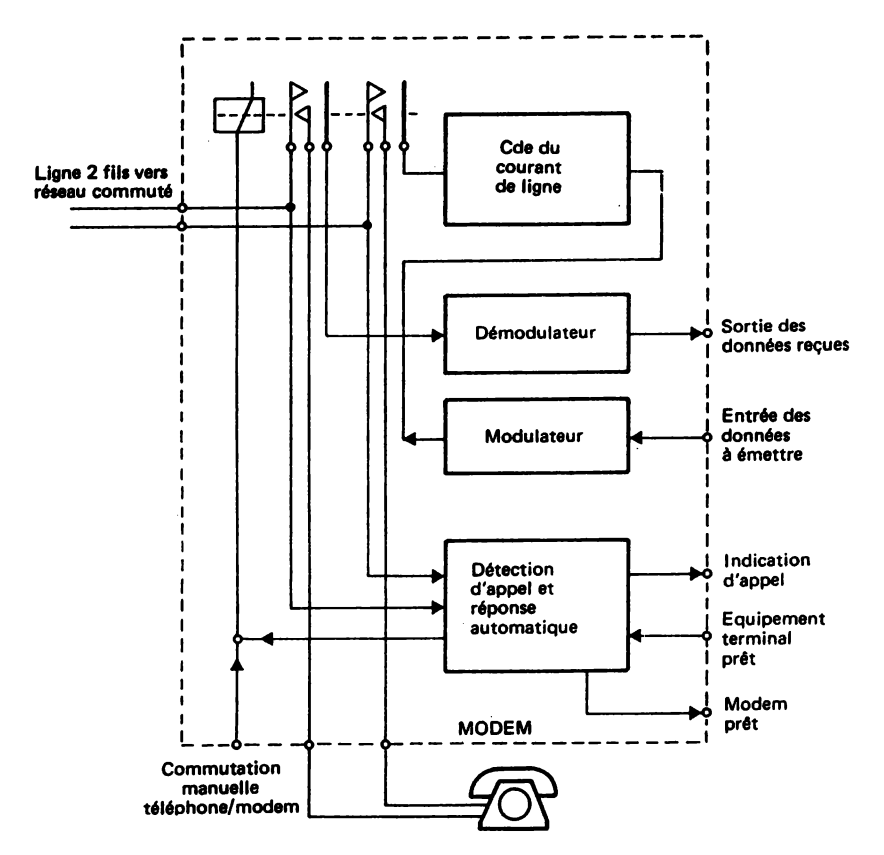


Fig. 2. — Pour intervenir via une ligne commutée, le modem comprend un relais supplémentaire pour le passage téléphone-modem.

un 1 ; c'est ce mode qu'on appelle l'ASK, pour « *Amplitude Shift Keying* ».

Si l'on se fixe deux niveaux différents, on peut transmettre du binaire. Quatre niveaux doubleraient la vitesse de transmission, avec des « dibits » (fig. 4), et huit autoriseraient le transfert de « tribits », triplant la vitesse. (Le lecteur trouvera, dans le chapitre consacré aux codes binaires, des définitions des mots bits, bauds, dibits, etc.).

Le synoptique de principe de la partie émission-réception d'un modem en AM est dessiné figure 5. Ce type de modulation est très sensible aux bruits.

BLU Une variante de modulation d'amplitude est la *modulation à bande latérale unique,* ou BLU, où l'on a supprimé l'une des deux bandes latérales du spectre de fréquence, émises autour de la porteuse centrale.

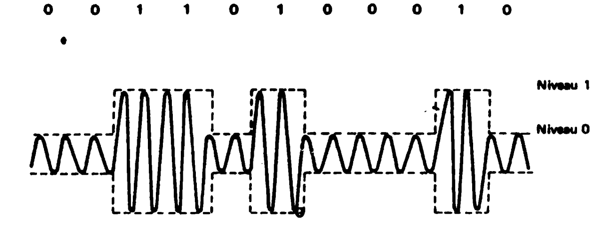


Fig. 3. — Traduction du binaire en modulation d'amplitude, à deux niveaux. La fréquence ne varie pas.

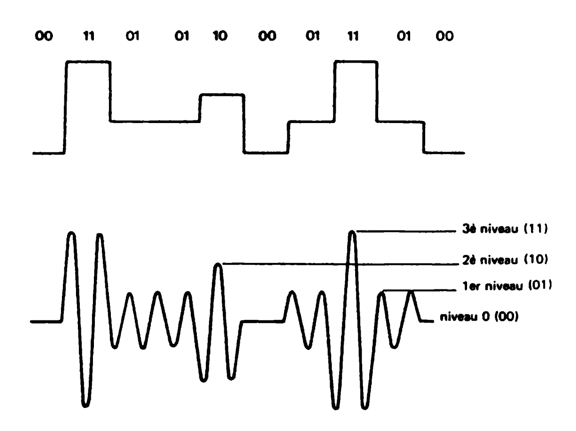


Fig. 4. — Avec quatre amplitudes différentes, on transmet des dibits en AM.

MODULATION DE FRÉQUENCE

En modulation de fréquence, c'est la fréquence de la porteuse qui varie alors que son amplitude reste constante. Ce mode de modulation, noté FM *(« Frequency Modulation »)* est bien moins sensible aux bruits mais exige une bande passante supérieure à l'AM. Il est actuellement très largement utilisé avec les modems ; on s'en sert très souvent aussi pour communiquer entre un micro-ordinateur et un enregistreur à cassette magnétique, par exemple.

Pour travailler en binaire, on se servira de deux fréquences différentes, par exemple 1200 Hz et 2200 Hz, la première traduisant le 0 et la seconde le 1 (fig. 6).

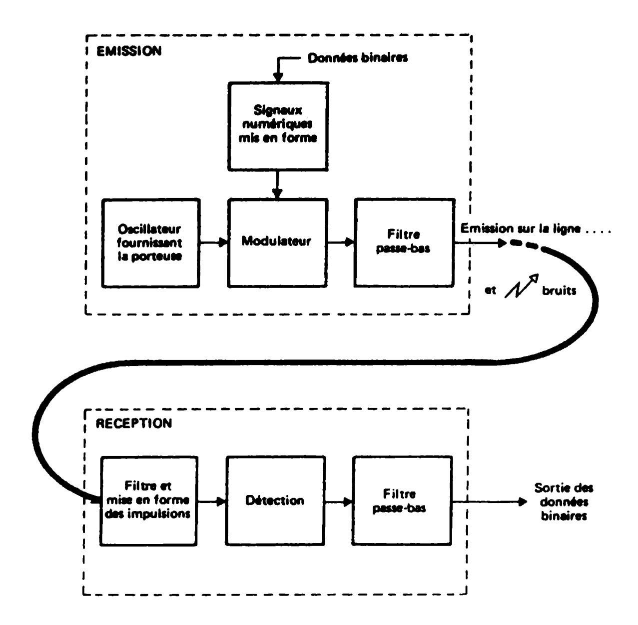


Fig. 5. — Chaîne de modulation-démodulation, dans son principe.

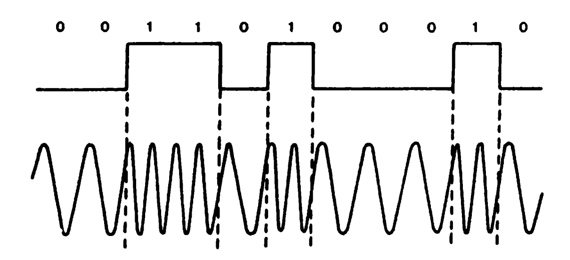


Fig. 6 — Modulation de fréquence : la fréquence de l'onde varie, avec deux fréquences correspondant respectivement aux zéros et aux uns.

FSK Pour les liaisons asynchrones jusqu'à 1800 bits par seconde environ, c'est presqu'exclusivement une variante de la FM, appelée FSK, qu'on utilise. La porteuse est, par exemple, sur 1700 Hz et l'on ajoute ou soustrait 500 Hz pour obtenir soit 1200 Hz, soit 2200 Hz (si l'on conserve les valeurs citées plus haut). C'est cette commutation qui est à l'origine du sigle FSK, de « *Frequency Shift Keying* ». Pratiquement, on pourra utiliser deux oscillateurs distincts (fig. 7).

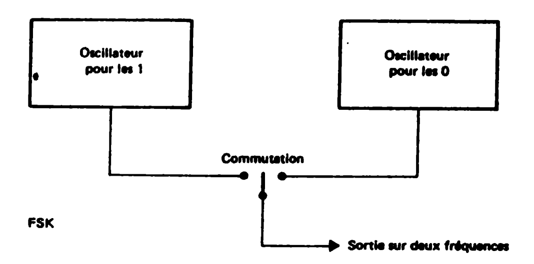


Fig. 7. — La modulation FSK est obtenue très simplement par commutation de deux oscillateurs.

Il est également possible d'utiliser quatre fréquences différentes, afin de transmettre des dibits par exemple, en doublant la vitesse de transmission.

Le *CCITT* a fixé, par ses recommandations, les fréquences à utiliser. Par exemple, l'avis V-21 définit les modems 300 bits/s ; en liaison asynchrone série, modulation FSK, les porteuses pour les deux voies (en duplex) sont à 1080 Hz et 1750 Hz, avec excursion de ± 100 Hz. Cela signifie que les fréquences seront de 980 et 1180 Hz pour une voie, de 1650 et 1850 Hz pour la seconde (tableau I).

L'équivalent américain (série 100 de la *Bell*) donnerait comme porteuses 1170 Hz et 2125 Hz, avec même excursion de ± 100 Hz.

Selon les types de modems, la liaison se ferait, dans ce cas, à l'alternat ou en duplex et ce sur 4 ou même deux fils pour les équipements les plus récents. En effet, on obtient l'équivalent d'un duplex, sur deux fils, en multiplexant à haute vitesse le sens des échanges.

LE STANDARD KANSAS CITY

En micro-informatique « personnelle », une variante du FSK a été définie sous le nom de « standard Kansas City », à la suite d'une conférence organisée dans cette ville.

Les deux fréquences sont le 1200 Hz pour le *zéro,* avec quatre cycles, et le 2400 Hz pour le 1, et ce avec huit cycles afin de conserver les mêmes durées de bits. Un caractère démarre par un bit de zéro pour le « Start », suivi par le bit de plus faible poids (LSB), puis les bits suivants jusqu'à celui de plus fort poids (MSB), et enfin le, ou les bits de « Stop », des uns. L'intervalle entre caractères est rempli d'oscillations à 2400 Hz.

Les fréquences sont parfaitement adaptées aux exigences des magnétophones à cassette du commerce les moins coûteux (et acceptent même des fluctuations de vitesse de 20 % et plus), et a fortiori, à celles des unités à disquettes.

Modem	Fa (= 0) (Hz)	Fz (= 1) (Hz)
200 bauds voie 1 voie 2	1180 1850	980 1650
600 bauds	1700	1300
1200 bauds	2100	1300

Tableau I. — Fréquences normalisées par les avis V-21 et V-23 du CCITT.

MODULATION DE PHASE La modulation de phase, ou PM, tend à supplanter les deux autres types de modulation. Elle est très peu sensible au bruit et se prête aux liaisons à grande vitesse, au-delà de 2000 bits/seconde.

Ici, c'est la phase de la porteuse qui est décalée d'un certain nombre de degrés en fonction des valeurs numériques à transmettre. En *biphase,* le décalage est par exemple de 180° ; la figure 8 montre un codage où les 1 correspondent à un déphasage nul et les 0 à un déphasage de 180° ; c'est la technique appelée DPSK, de « *Differential Phase Shift Keying* ».

DPSK

Si, au lieu de deux phases à 180° on utilise quatre phase à 90° telles que les angles de phase soient 45°, 135°, 225° et 315°, on pourra avec ces quatre états coder des paires de bits, ou *dibits :* 00, 01, 10 et 11. Le débit binaire est double pour un débit *en bauds* inchangé sur la ligne.

DIBITS

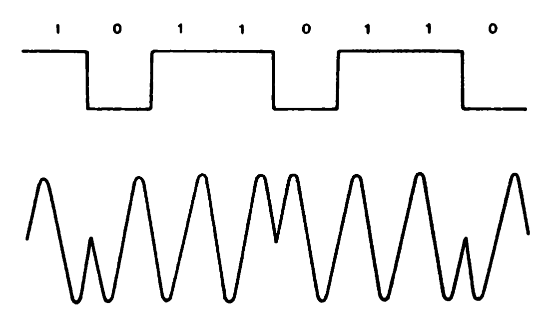


Fig. 8. — Modulation de phase : ni l'amplitude, ni la fréquence ne varient.

Pour des vitesses encore plus élevées et en mode synchrone, on pourra passer à 12 phases différentes et même combiner quatre d'entre elles avec de la modulation d'amplitude (deux valeurs d'amplitude : simple ou double). On obtient ainsi 16 états différents qui permettent le codage par (groupes de 4 bits), ou quartets (fig.9). Ainsi, une ligne de 2400 bauds transmettra des informations à 9600 bits par seconde.

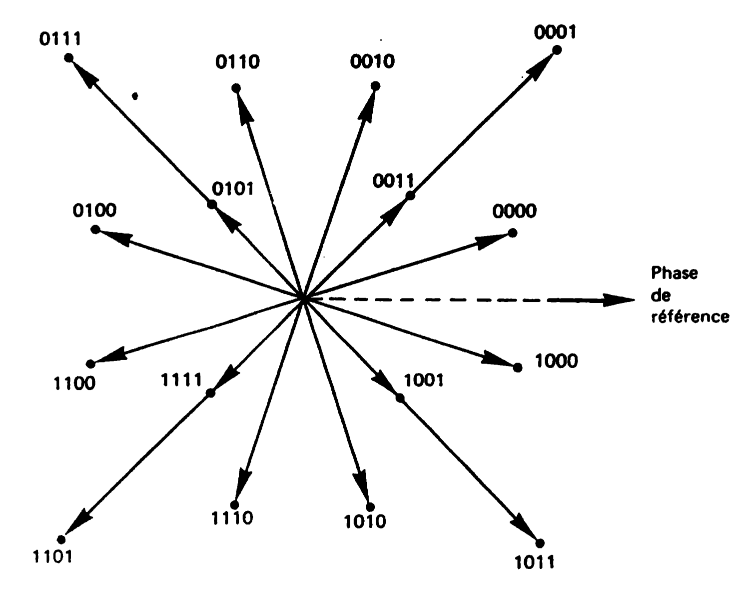


Fig. 9. — **Angles de phase et modulation d'amplitude pour 4 d'entre eux, pour des transmissions synchrones à 9600 bits/s sur lignes 2400 bauds.**

4. LE COUPLEUR ACOUSTIQUE

Le coupleur acoustique constitue une variante des modems, souvent utilisé avec le téléphone car il est pratique et économique.

La différence avec les autres modems est la suivante : alors qu'ils sont tous couplés électriquement, il est, lui, couplé acoustiquement à la ligne téléphonique. Les données numériques sont converties en sons acoustiques, selon la technique FSK le plus souvent, et attaquent le microphone du combiné, posé sur le coupleur (fig. 10). A la réception, le microphone inclus dans le coupleur reçoit les trains d'ondes et les convertit en données numériques.

La plupart des coupleurs acoustiques travaillent de 110 à 1800 bits par seconde et sont donc relativement lents.

5. LIAISONS DEUX ET QUATRE FILS - LE PROBLÈME DES ÉCHOS

Deux ou quatre fils peuvent relier les modems entre eux (fig. 11). Le duplex, qui relève plus simplement du quatre fils, peut être réalisé sur deux au prix d'une sophistication des équipements terminaux.

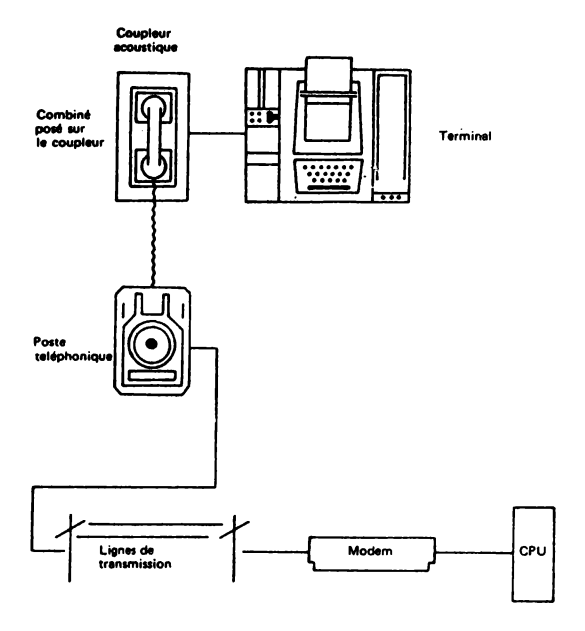


Fig. 10. — Intervention d'un coupleur acoustique, variante économique mais lente des modems.

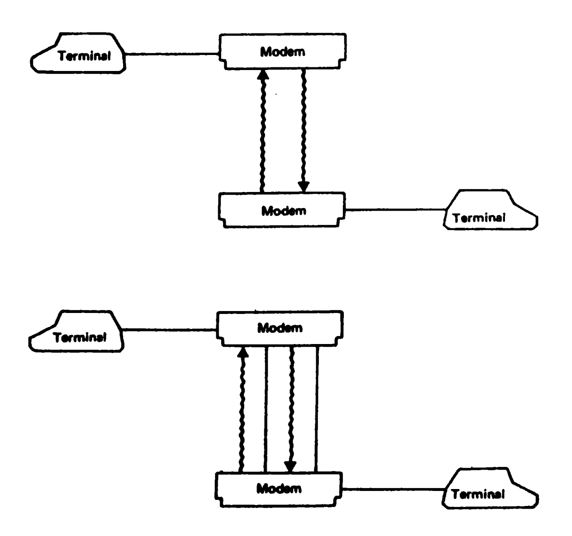


Fig. 11. — Liaisons 2 et 4 fils entre modems.

Les liaisons sur deux fils souffrent d'un phénomène d'*écho :* une réflexion parasite des ondes à l'extrémité de la ligne renvoie celles-ci en écho à l'émetteur

• SUPPRESSEURS D'ÉCHO Pour supprimer ce phénomène dans une liaison à l'alternat, des *suppresseurs d'écho* sont placés sur les lignes commutées (prévues pour des échanges vocaux). La figure 12 montre le principe de leur action : lorsque le suppresseur d'écho est ouvert, la ligne apparaît comme interrompue et bloque ainsi la réflexion indésirable.

Les suppresseurs d'écho introduisent malheureusement des bruits parasites et des transitoires de commutation. Leur commutation occupe environ 150 ms, ce qui est pénalisant. Aussi peuvent-ils parfois être verrouillés en position fermée ou neutralisés par l'émission d'une fréquence spéciale.

Les liaisons quatre fils ne souffrent pas de cette difficulté puisqu'elles peuvent être considérées comme une double liaison deux fils, à sens spécialisé.

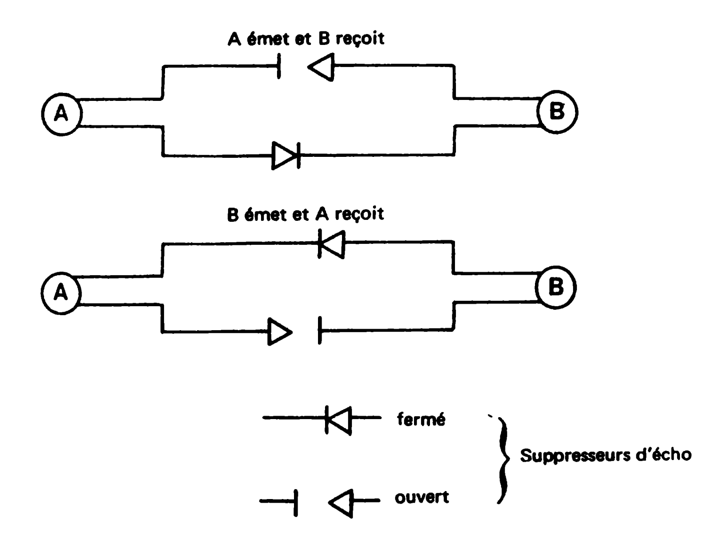


Fig. 12. — Principe du rôle du suppresseur d'échos sur une ligne commutée deux fils.

ÉGALISEURS DE VOIES Pour améliorer encore les caractéristiques des lignes fonctionnant avec des modems, on insère des *égaliseurs de voies* dont le rôle consiste à corriger l'amplitude et la phase des signaux de façon à obtenir des courbes de réponse aussi plates que possibles. Il s'agit de filtres qui peuvent être analogiques ou numériques, ces derniers permettant une égalisation automatique par échantillonnage périodique et traitement adapté.

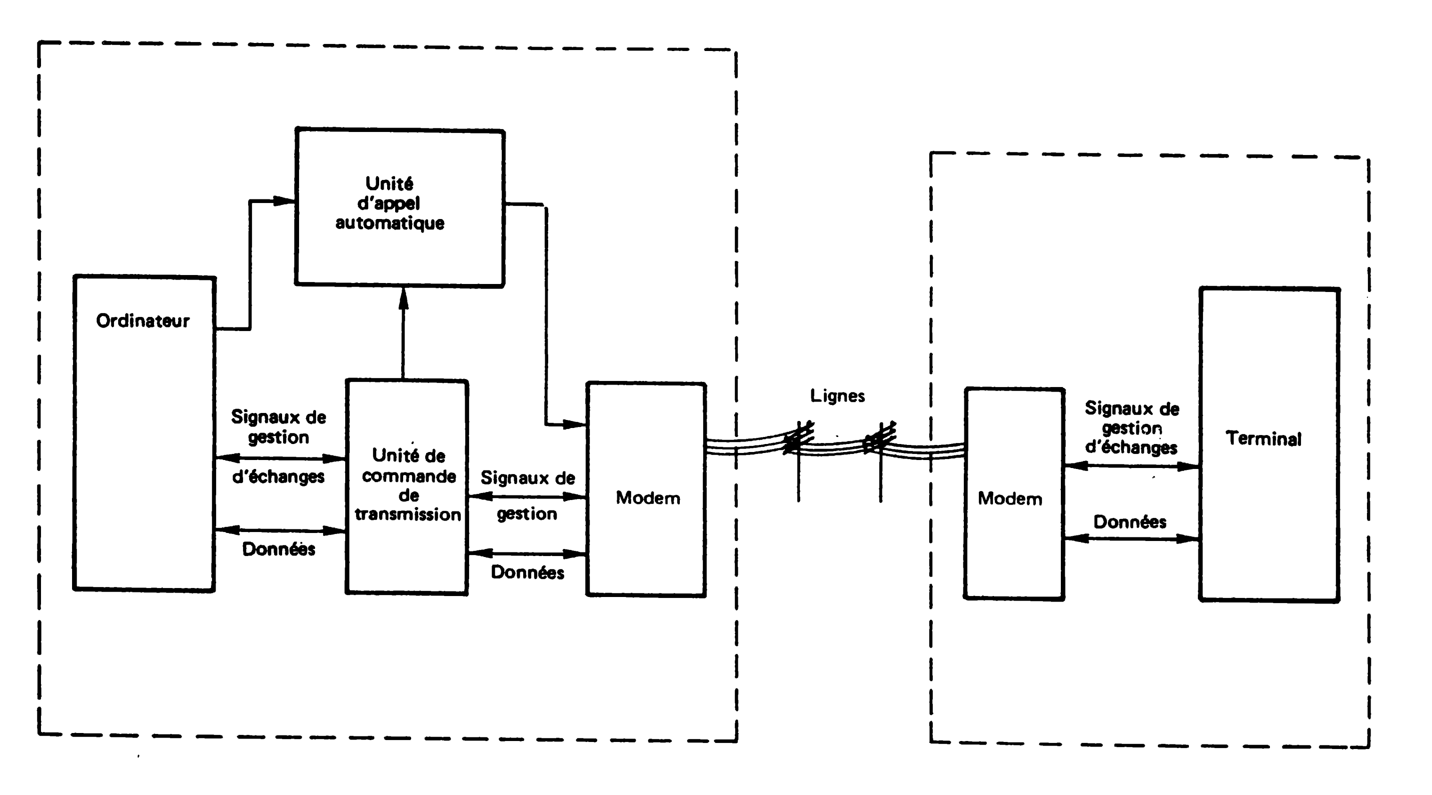


Fig. 13. — Intervention d'une unité d'appel automatique soumise à un ordinateur.

6. L'APPEL AUTOMATIQUE

L'appel du correspondant via un modem peut se faire automatiquement, sans passer par des opérations manuelles, à l'aide d'une unité supplémentaire désignée par le nom d'*unité d'appel automatique* et soumise à un ordinateur (fig. 13).

Des matériels autonomes ont pu être développés à cet effet ; ils permettent la transmission de données sur le niveau commuté en assurant toutes les fonctions de l'appel du correspondant et en respectant toutes les contraintes de procédure imposées par les *PTT.*

La figure 14 donne ainsi le synoptique et les liaisons du « Système d'Appel Automatique » (SAA) développé en 1979 par *TITN.* Couplé à un ordinateur, il reçoit de ce dernier les ordres de mise en communication et lui renvoie les comptes rendus d'exécution. Les informations sont échangées par une liaison de type téléphonique asynchrone réservée à cet usage. D'après le schéma, on voit que le SAA peut gérer des appels simultanément sur quatre lignes téléphonique via des modems.

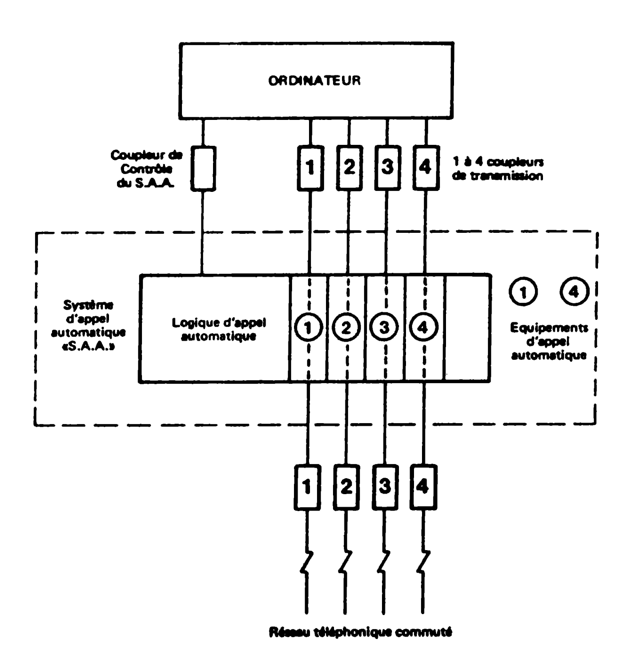


Fig. 14. — Le système automatique d'appel SAA proposé par TITN.

7. CHOIX D'UN MODEM

Selon leurs caractéristiques, les modems répondent à des possibilités de transmission qui sont :

1. Asynchrones ou synchrones.
2. Sur lignes privées (louées) ou commutées.
3. En duplex ou semi-duplex.
4. A grande ou faible distance.

Pour une liaison fiable, on se limite généralement à des vitesses de 4800 bits/seconde sur le réseau commuté, à 9600 bits/s sur lignes louées, bien que des vitesses supérieures existent. Le mode synchrone permet des transmissions plus rapides que l'asynchrone.

En semi-duplex, le temps de basculement du sens de la liaison peut compter : il variera de 20 à 200 millisecondes. Si les messages sont courts, c'est lui qui grèvera le temps de transmission.

Le taux d'erreur qui entache une liaison dépend beaucoup de la vitesse et varie avec elle. Le type de modulation joue également et de ce point de vue, c'est la modulation de phase la plus intéressante. Les lignes doivent aussi être équilibrées ; certains modems compensent automatiquement et dynamiquement les déséquilibres des lignes, assurant par là-même une meilleure sécurité de la liaison mais à un prix accru.

Le prix d'un modem est généralement fonction de la vitesse de transmission. Les coupleurs acoustiques sont alors parmi les moins onéreux.

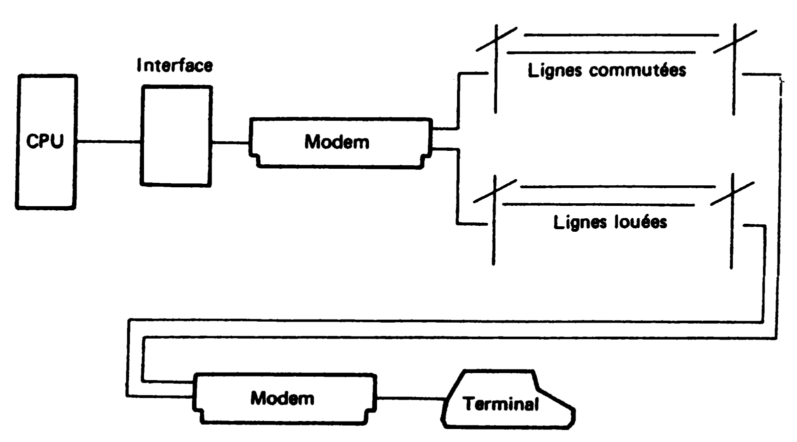


Fig. 15. — Principe de la commutation des modems de lignes louées sur des lignes commutées, en cas d'incident.

Le problème de la maintenance est également important. On notera tout d'abord que certains modems offrent une vitesse basse supplémentaire de transmission, utilisable lorsque les erreurs de transmission sont trop nombreuses et par exemple, lorsque la ligne est particulièrement bruyante. D'autres, prévus pour des lignes louées, offrent la possibilité de passer sur lignes commutées dès lors qu'une défaillance survient (fig. 15). Certains matériels permettront enfin des tests des lignes par renvoi du signal afin de localiser une défaillance ponctuelle de la ligne par élimination de portions définies successives.

Dans le tableau II, on trouvera la liste de quelques avis édités par le *CCITT* et relatifs aux modems.

Interfaces	
V.24	Définition des circuits d'échange entre modems et terminaux.
V. 25	Equipements automatiques d'appel et/ou de réponse et inhibition des suppresseurs d'écho.
Modems pour réseau commuté	
V. 21	Modem 200 bauds
V. 23	Modem 600/1200 bauds
V. 26 b	Modem 2400/1200 bits/s
V. 30	Modems pour transmission parallèle
V. 22	Standardisation des débits
V. 25	Equipements automatiques d'appel et/ou de réponse et inhibition des suppresseurs d'échos
V. 15	Couplage acoustique
Modems pour lignes louées	
V. 26	Modem 2400 bits/s
V. 27	Modem 4800 bits/s
V. 22 b	Standardisation des débits
V. 35	Liaisons à 4800 bps sur circuits 60 à 108 kHz
V. 29	Modems 4800/9600 bits/s

Tableau II. — Quelques recommandations du CCITT relatives aux modems.

De nombreux fabricants commercialisent des modems. A titre d'illustration, le tableau III (1979) fournit la gamme classique des produits de *TRT (Télécommunications Radioélectriques et Téléphoniques).*

	QUALITE LIGNE							Débit d'information bit/s	Avis CCITT	Mode de transmission	Type de modulation
		Ligne spécialisée									
	Réseau Commuté	Qualité normale		Qualité supérieure	Bande de base		Groupe primaire				
		2 fils	4 fils		2 fils	4 fils					
S. 102	●	(couplage acoustique) ●						200	V 21	Asynchrone	Fréquence
S. 311	●	●						300	V 21	Asynchrone	Fréquence
S. 312	●	●						300	V 21	Asynchrone	Fréquence
S. 1211	●	●	●	●				600/1200	V 23	Asynchrone et Synchrone	Fréquence
S. 1212	●	●	●	●				600/1200	V 23	Asynchrone et Synchrone	Fréquence
S. 1001					●	●		<20000		Synchrone	Biphase
S. 1002					●	●		>20000		Synchrone	Biphase
S. 1011					●	●		1200/2400 3600/4800 7200/9600 14400/19200		Synchrone	Biphase et DM
S. 1012					●	●				Synchrone	Biphase et DM
S. 2405	●	●	●	●				1200/2400	V 26 V 26 bis A et B	Synchrone	Phase
S. 4802			●	●				4800	V 27	Synchrone	Phase
S. 4803	●	●	●	●				2400/4800	V27ter	Synchrone	Phase
S. 4804			●	●				2400/4800	V27bis	Synchrone	Phase
S. 9603				●				4800/7200/ 9600	V 29	Synchrone	QAM
S. 72KB							●	48000/56000 64000/72000		Synchrone	BLU à porteuse atténuée

Tableau III. — Une gamme type de modems : ceux de TRT.

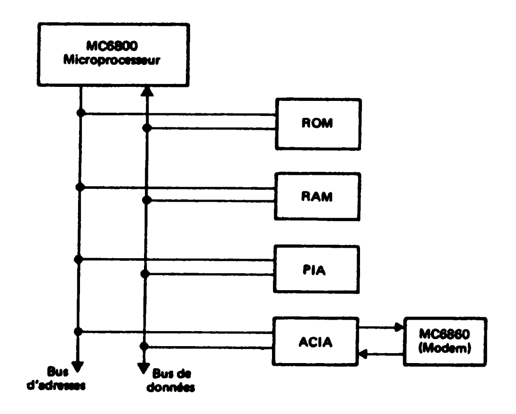


Fig. 16. — Le modem MC 6860 dans un système à microprocesseur 6800.

Les plus récents de ces matériels sont largement équipés de circuits intégrés LSI spécialisés et même de microprocesseurs. Ces derniers exécuteront tous les traitements sur le signal, en numérique : codage, décodage, modulation, démodulation, filtrage, égalisation automatique adaptative, etc.

8. CIRCUITS INTÉGRÉS SPÉCIALISÉS

L'exemple d'un circuit intégré type jouant le rôle d'un modem est le MC 6860 de *Motorola* qui s'insère comme le montre la figure 16 dans un système à microprocesseur 6800. Il fonctionne en FSK jusqu'à 600 bits/s, en duplex ou semi-duplex, sur des fréquences de 1070 et 1270 Hz et pour la réponse, de 2225 et 2025 Hz à partir d'un quartz à 1 MHz.

Mode réponse. — Supposons que le modem de la figure soit appelé, via la ligne RI (« Ring Indicator ») ; il se place dans le mode *réponse* et si le terminal devant recevoir les données est prêt (ligne « Data Terminal Ready »), il met au niveau haut la ligne de réponse « Answer Phone ». Celle-ci commande le « décroché du combiné » (« Off Hook ») et le relais de transmission du coupleur (fig. 17), puis le modem émet le 2225 Hz. Après un délai de 450 ms utilisé pour la mise hors service des suppresseurs d'échos dans le réseau téléphonique, le destinataire (qui était à l'origine de l'appel) renvoie du 1270 Hz, reçu à l'entrée de détection de seuil. Si, pendant 51 ms, rien n'est ici reçu, le modem commencera une procédure pour raccrocher ; après 150 ms de réception de 1270 Hz, les données peuvent être reçues. La sortie « Clear to Send » passe alors au niveau actif et les données sont transmises.

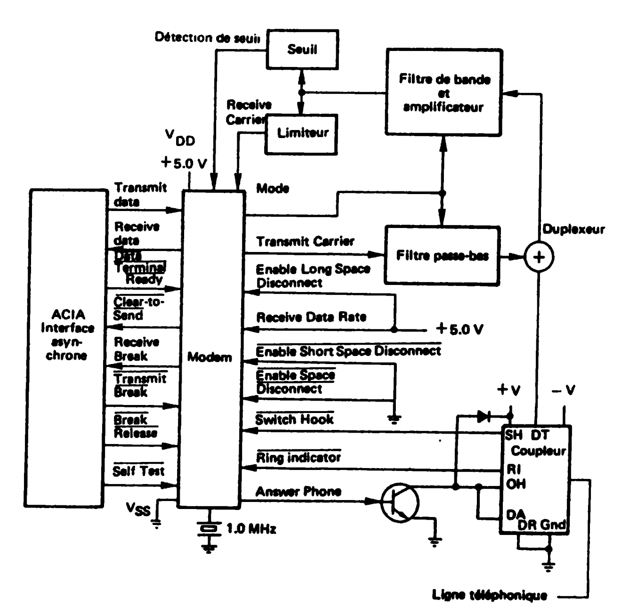


Fig. 17. — Montage typique du MC 6860.

Mode d'appel. — En mode appel, l'entrée « Switch Hook » (contact du crochet) met le modem en situation d'initiateur de l'appel. Si le terminal de données est prêt, le modem porte au niveau haut la ligne « Answer Phone ». Il est alors prêt à recevoir le 2225 Hz du modem récepteur. S'il n'obtient pas de réponse en moins de 17 s, il se déconnecte.

Si, par contre, il reçoit le 2225 hz pendant 150 ms, il répond en émettant le 1270 Hz, met la ligne « Clear to Send » au niveau actif et commence la transmission.

CHAPITRE XII

MODULATION NUMÉRIQUE : PAR IMPULSIONS CODÉES ET DELTA

La modulation numérique par codage d'impulsions est exécutée lorsqu'on veut transmettre à distance et en numérique des signaux analogiques à l'origine, tels que la modulation téléphonique. La technique utilisée consiste à convertir en impulsions codées les ondes analogiques, soit en MIC, soit dans cette variante qu'on appelle la modulation delta.

1. PRINCIPE DE LA MODULATION PAR IMPULSIONS CODÉES (MIC)

Afin de traiter en *numérique* des signaux qui, à l'origine, sont *analogiques,* on procède à leur conversion. Le signal analogique est prélevé à intervalles réguliers de façon que chaque échantillon donne une bonne idée de son évolution (fig. 1). Les échantillons doivent donc être suffisamment rapprochés, mais également pas trop nombreux pour ne pas trop charger ensuite le traitement ultérieur. La théorie indique qu'il faut au moins une fréquence d'échantillonage *double* de la plus haute fréquence analogique à transmettre. En téléphonie et pour 3,4 kHz, ou encore 4 kHz au maximum, une fréquence minimale de 8 kHz conviendra.

Le signal analogique ayant ainsi été quantifié, en valeurs discrètes, on convertit celles-ci en binaire à l'aide d'un classique convertisseur analogique-numérique. Plus la longueur du mot binaire est importante (en nombre de bits) et plus on pourra coder de niveaux ; la figure 2 montre ce que donnerait un codage sur 4 niveaux, de 0 à 3, et sur 2 bits par conséquent. En pratique, avec 8 bits, on codera tous les niveaux de 0 à 256 avec une précision suffisante pour une liaison vocale. Ce sont ces mots binaires qui seront, ensuite, transmis. A la réception, on procédera à la conversion inverse afin de reconstruire une courbe analogique conforme à l'original.

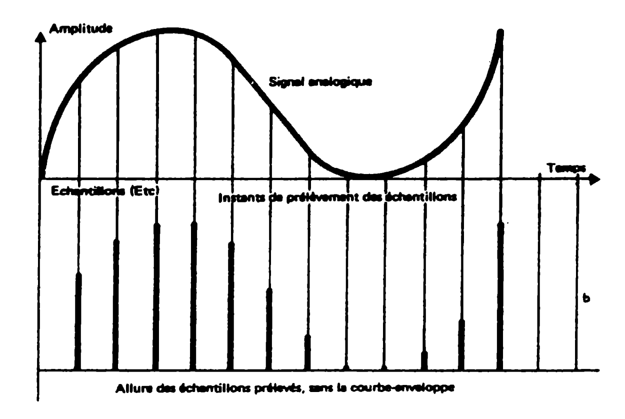


Fig. 1. — Principe de l'échantillonnage d'une onde analogique. Des échantillons sont prélevés à intervalles égaux.

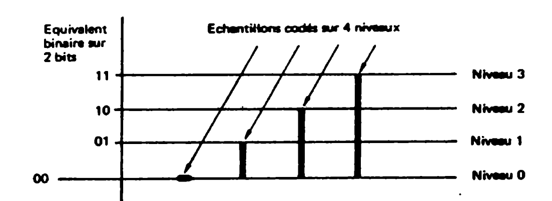


Fig. 2. — Codage en binaire de l'amplitude des échantillons, ici sur 2 bits seulement. En pratique, on utilise des mots de un octet, codant non pas 4 mais 256 niveaux d'amplitude.

MIC (PCM) **C'est ce processus de conversion d'un signal analogique échantillonné en un train binaire qu'on appelle la *modulation par impulsions codées*, ou MIC en abrégé. On traitera encore de *modulation par codage d'impulsions*, ce qui est synonyme, ou encore de *PCM*, pour « *Pulse Code Modulation* » selon la terminologie anglo-saxonne.**

On remarquera immédiatement que le signal original n'est jamais reproduit exactement en raison du nombre restreint d'échantillons. L'*erreur* ainsi introduite est désignée par *distorsion de quantification* (ou encore *bruit de quantification*), sur lequel on va revenir.

Une voie de liaison en MIC revêt ainsi la structure de la figure 3, en première approche.

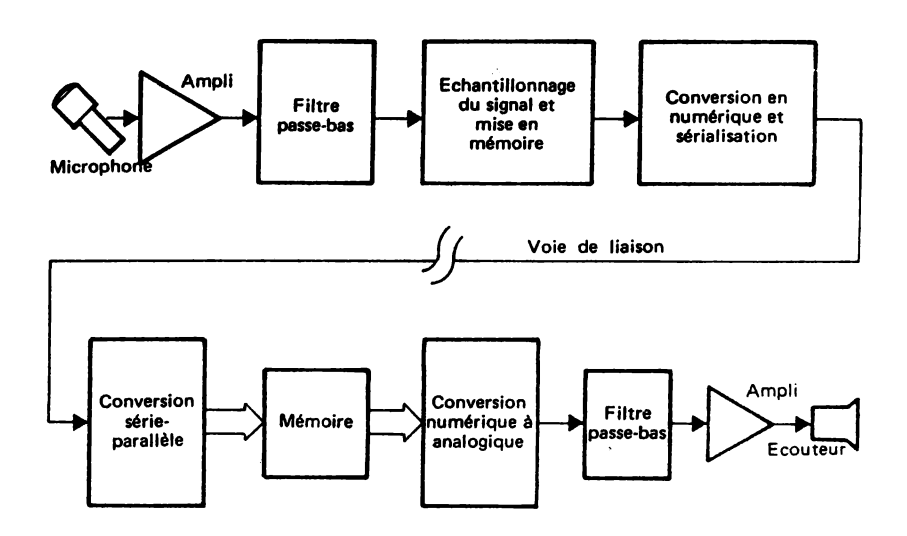


Fig. 3. — Une voie MIC complète, fortement simplifiée.

2. INTÉRÊT DE LA MIC

La modulation par impulsions codées offre de nombreux avantages, parmi lesquels les suivants :

• Lorsqu'on transmet un signal analogique, on l'amplifie à intervalles réguliers afin de compenser les pertes en ligne. Simultanément, on amplifie également tous les bruits qui s'ajoutent donc. En MIC, les bruits peuvent être éliminés car il suffit de remettre en forme de créneaux des signaux qui auraient pu être perturbés ; on peut donc les ré-amplifier autant de fois qu'on le désire *sans accroître le niveau de bruit.*
• Il pourrait sembler que le signal MIC demande une plus large bande passante pour être transmis. En pratique, et parce qu'on le « reconstruit » à intervalles réguliers (on le remet en forme), il supporte des canaux à bande relativement étroite.
• Le traitement numérique est plus économique que le traitement pour un signal analogique, cela en raison des progrès des circuits intégrés essentiellement et de la micro-informatique.

• Le *multiplexage temporel* des signaux numériques, qu'on va examiner, permet une très grande économie sur les moyens de transport des informations. D'autre part, certains supports tels que les fibres optiques s'accommodent parfaitement du numérique.
• Les modes de transmission numériques peuvent véhiculer aussi bien des informations d'origine analogique que des données numériques (informatique).
• On peut « chiffrer » aisément des informations numériques, afin de les rendre secrètes.

3. CODAGE TÉLÉPHONIQUE

Pour les besoins de transmissions vocales, la bande passante nécessaire va généralement de 300 Hz à moins de 4 000 Hz. Par conséquent, le nombre d'échantillons prélevés peut être fixé à 8 000 (deux fois la fréquence maximale, au moins).

Si chaque échantillon est codé sur 128 niveaux, ce qui implique l'usage d'un mot de 7 bits, le nombre maximal de bits à transmettre en une seconde est de 7 fois 8 000, soit 56 000. Un codage sur 256 niveaux, passant donc par un mot de 8 bits, se traduirait par une liaison à $8 \times 8\,000 = 64\,000$ bits par seconde au maximum.

Or, les canaux de transmission acceptent bien plus. Par conséquent, une unique ligne téléphonique pourra transmettre plusieurs communications *à la condition qu'on multiplexe celles-ci.*

4. LE MULTIPLEXAGE TEMPOREL

Les signaux analogiques sont généralement *multiplexés dans l'espace,* c'est-à-dire qu'on les émet simultanément en modulant plusieurs ondes porteuses ou sous-porteuses. Le spectre des fréquences occupées s'élargit et c'est ce qui fait dire que le multiplexage se fait dans l'espace *(multiplexage spatial).*

Par contre et en numérique, on peut fort bien prélever des échantillons sur plusieurs ondes analogiques, en décalant dans le temps l'instant du prélèvement. Les échantillons se suivront dans un ordre rigoureux et seront convertis en numérique, puis transmis. C'est ce qu'on appelle le *multiplexage temporel.* La figure 4 en donne un exemple. Quatre voies analogiques sont échantillonnées ; les échantillons se suivent dans l'ordre :

— Echantillon n° 1 de la voie 1 ;
— Echantillon n° 1 de la voie 2 ;
— Echantillon n° 1 de la voie 3 ;
— Echantillon n° 1 de la voie 4 ;
— Echantillon n° 2 de la voie 1 ;
— Etc.

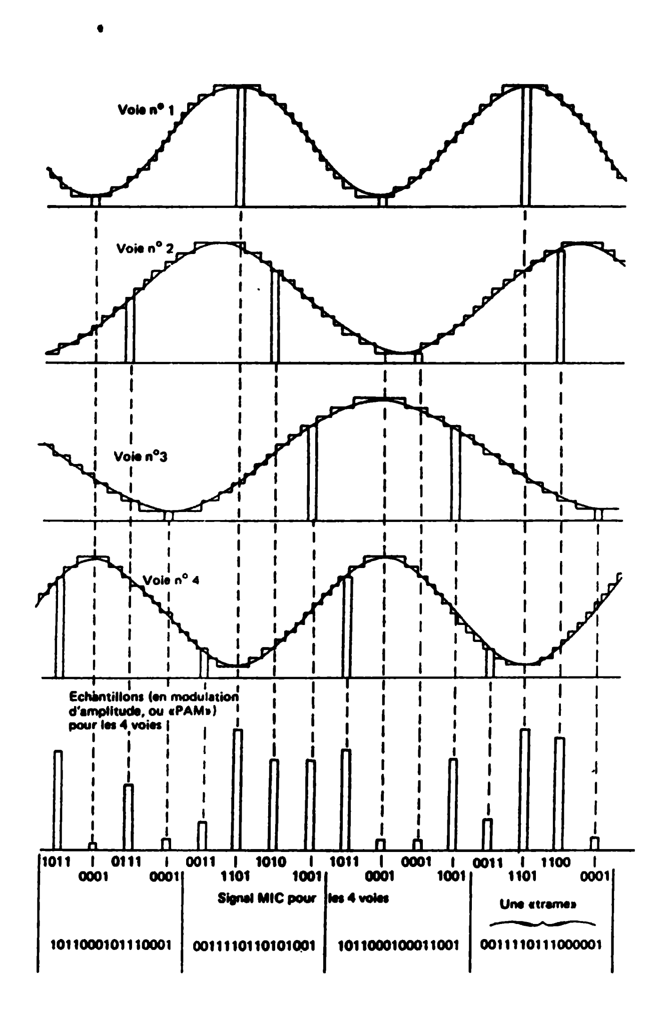


Fig. 4. — Quatre voies analogiques sont échantillonnées et multiplexées. Les échantillons sont ici codés en numérique sur 4 bits (16 niveaux) ; une « trame » se compose alors de 4 mots de un quartet, soit 16 bits.

Ils sont ensuite convertis en numérique et, si le codage se fait sur 16 niveaux (ce qui implique l'usage d'un mot de 4 bits), une « trame » traduisent 4 échantillons sera constituée par un mot de 16 bits.

FRÉQUENCES DE CODAGE Si le codage, réellement, se fait sur 8 bits, on a vu que le débit est de 8 fois 8 000, soit 64 k bits/s. Le multiplexage de 32 voies à 64 k bits par seconde impliquera donc une liaison à 32 × 64 = 2 048 kilobits par seconde, valeur très souvent adoptée en pratique.

Le tableau I résume la normalisation des multiplex numériques telle qu'adoptée en Europe. Par exemple, la liaison Paris-Lyon qui devait entrer en service fin 1980 fonctionne à 140 mégabits par seconde et a une capacité de 1 920 voies téléphoniques. Créée par les *PTT*, elle aura été développée par *SAT* et *LTT* et le multiplexeur 8 à 140 Mbits/s par *SAT* et *CIT-Alcatel*, ce qui aura aussi impliqué le développement d'appareils de mesure spécifiques de *taux d'erreurs* ou de *gigue (Intertechnique, Schlumberger)*.

Rang	Débit (kilobits/s)	Appellation courante simplifiée (Mbits/s)	Nombre de voies téléphoniques	Multiplication d'un rang à l'autre par
1	2 048	2	30	
2	8 448	8	120	4
3	34 368	34	480	4
4	139 264	140	1 920	4
5	2 x 282 176	280	7 680	4

Tableau I. — Les multiplex numériques en Europe.

5. LES LOIS DE COMPRESSION - EXPANSION DU SIGNAL

La quantification se fait, si l'on travaille en 8 bits, sur 256 niveaux. La distance d'un niveau à l'autre, donc la largeur de l'intervalle de quantification, est alors constante et égale à 1/256ᵉ de l'amplitude maximale. Ainsi, une onde analogique croissante rencontrera, à intervalles égaux, ces 256 niveaux.

Supposons qu'elle évolue autour du niveau 25. Lors de l'échantillonnage, l'onde pourra être aussi bien à 24,8 qu'à 25,4 ; l'échantillon sera ramené à 25 dans tous les cas (l'onde continuant par ailleurs à évoluer). Ainsi, une *erreur de quantification* qu'on appelle *distorsion de quantification*, est introduite ; souvent, on dira aussi qu'on crée un *bruit de quantification*.

ERREUR DE QUANTIFICATION Cette erreur est *constante*, en valeur maximale possible, à chaque niveau et *ne dépend donc pas de l'amplitude de l'onde analogique*.

Or, cette distorsion jouera davantage sur un signal faible que sur un signal fort, car le rapport *signal sur bruit* est alors plus défavorable (pour un bruit *constant*) lorsque le signal est faible. Ce qui est fort gênant aux faible signaux.

Pour aboutir à un rapport signal/bruit *constant*, il faut que le bruit croisse avec l'amplitude du signal et que, par conséquent, les intervalles de quantification augmentent avec l'amplitude du signal. On aboutit ainsi à une distribution sensiblement logarithmique des niveaux de quantification et à des lois appelées *lois de compression* (et d'*expansion* lorsque, à la réception, on procède à la conversion inverse) ; ce mot de *compression* a été retenu car tout se passe comme si un compresseur hypothétique comprimait les fortes amplitudes et dilatait les faibles (on pourra se reporter à la référence bibliographique [10], « Transmission téléphonique » par Henri SOULIER, pour une plus ample étude de ce phénomène).

LOI μ
LOI A

On aboutit ainsi à deux lois (sur lesquelles on reviendra dans le chapitre consacré aux Codecs) et qui sont :

1) — *L'une, américaine,* est connue sous le nom de loi μ ; elle porte sur une compression de la dynamique de 72 dB et a été proposée par la *Bell Telephone* sous la référence μ 255.
2) — *La seconde, européenne,* est la loi A ; elle a été normalisée par le *CCITT* (norme A 87-6)

Selon ces lois de compression, le signal analogique rencontre davantage de niveaux aux faibles amplitudes qu'aux fortes. Les courbes des figures 5 et 6 illustrent la loi A, en 5 pour la compression exécutée sur 128 niveaux positifs

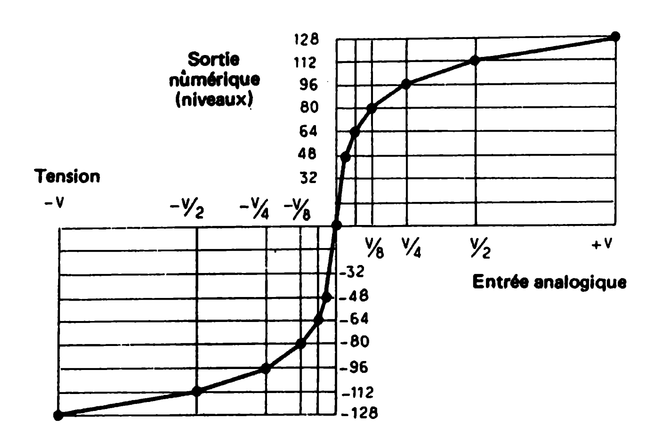


Fig. 5. — Loi A de compression (à l'émission).

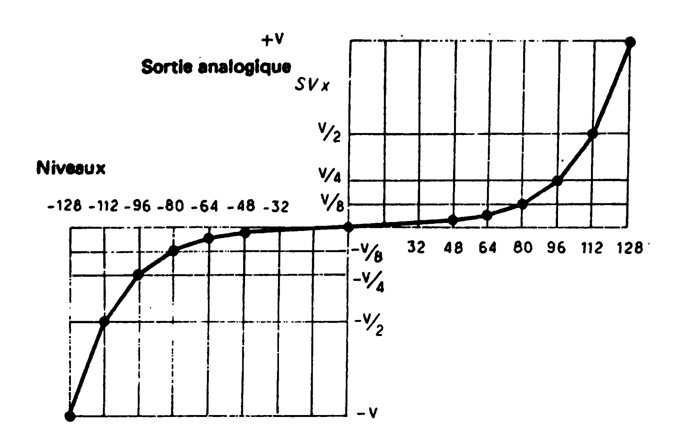


Fig. 6. — Loi A d'expansion (à la réception)

et 128 négatifs, soit 256 au total (et donc en utilisant ensuite 8 bits par niveau), et la figure 6 pour la courbe inverse *d'expansion* qui, à la réception, vise à (reconstituer) un signal analogique conforme à l'original.

Les normalisations du *CCITT*, en relation avec ces lois μ et A, portent sur :

- Une loi A à 13 segments couvrant les amplitudes positives et négatives.
- Une loi à 15 segments couvrant les amplitudes positives et négatives, correspondant à la μ 255.

COMPANDEURS Les circuits chargés d'exécuter ces fonctions de *compression-expansion* ont reçu le nom combiné de *compandeurs*. Le *CCITT* en a traité en particulier dans sa recommandation A 711 (*Livre vert*, vol. III, Lignes de transmission, 1973).

D'autre part, des circuits intégrés spécialisés, destinés à la téléphonie, exécutent l'ensemble de ces fonctions d'échantillonnage, compression ou expansion et conversion en numérique ; ce sont des circuits

CODEC codeurs-décodeurs ou CODEC, que l'on examinera dans un chapitre spécial en raison de leur importance.

6. LES RECOMMANDATIONS DU CCITT SUR LA MIC

Le *CCITT* a émis plusieurs recommandations relatives à la MIC, et parmi celles-ci :

1) — *La A-733 sur les équipements multiplex à 1 544 kilobits par seconde* (*Livre vert*, 1973, volume III : Lignes de transmission). Les caractéristiques

préconisées sont sensiblement différentes de celles qu'avait adopté la *Bell Telephone* avec la « Porteuse T1 », à 1 544 k bits/s et 24 voies multiplexées, sur paires téléphoniques.

La vitesse d'échantillonnage est de 8 000/seconde et par conséquent, le temps imparti pour un échantillon est de 125 microsecondes. Le codage, dans le système *Bell,* se fait sur 7 bits (128 niveaux) auxquels est ajouté un huitième pour des informations diverses. Avec 24 voies, une « trame » (le balayage de toutes les voies, avec un échantillon par voie) se compose de $24 \times 8 = 192$ bits, auxquels on ajoute un 193ᵉ bit pour la synchronisation. Ces 193 bits occupent donc 125 microsecondes.

Dans la normalisation CCITT A-733, on retrouve ces mêmes 193 bits, mais celui de synchronisation passe en tête, et non à la fin, et la structure de la synchronisation est différente. Le codage se fait sur 8 bits. Un groupe de 12 trames est appelé *multitrame.*

2) — La A-732 sur les équipements multiplex à 2 048 kilobits par seconde (même référence que ci-dessus), généralement adoptée hors les USA. Chaque trame comprend 32 fois 8 bits, soit 256 bits, et 16 trames composent une *multitrame ;* en fait, on ne transmet pas 32 voies mais 30 pour la parole, la 31ᵉ sert à la synchronisation et à l'appel, la 32ᵉ étant réservée à la signalisation. Chaque voie est échantillonée 8 000 fois par seconde et codée sur 8 bits, soit encore un débit de 64 000 bits/seconde (fig. 7).

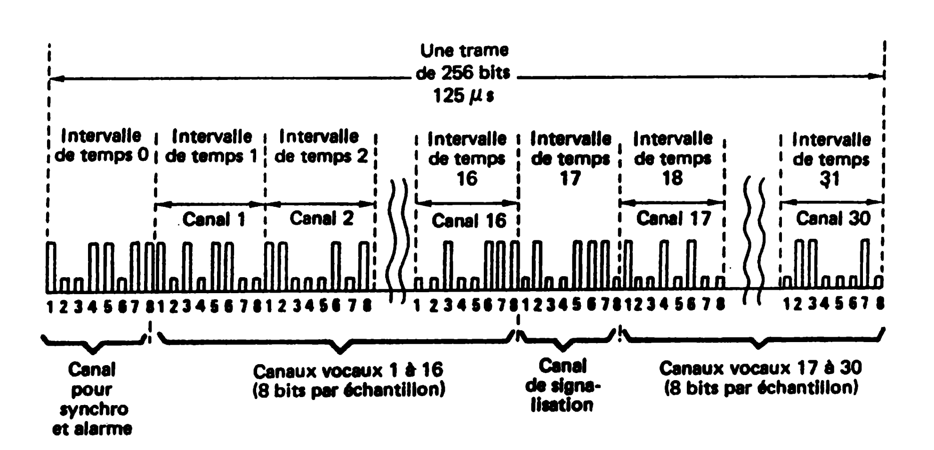


Fig. 7. — Structure d'un canal MIC sur 2 048 kilobits, selon les recommandations du CCITT. Seize « trames » composent une « multitrame » ; 500 multitrames sont transmises en une seconde. Trente voies vocales sont transmises, les intervalles de temps 0 et 17 servant aux informations utiles à la liaison.

Caractéristique	U.S.A.	Europe
Echantillonnage	8 kHz	8 kHz
Bits par échantillon	8	8
Capacité d'un canal	64 k bits	64 k bits
Voies par trame	24	32
dont : vocales	24	30
signalisation	0	2
Bits par trame	193 (192 + 1 de trame)	256
Trame orientée	Bit	Canal
Loi de codage	$\mu = 255$ (15 segments)	A = 87,6 (13 segments)
Signalisation	1 bit chaque 6 trames	Canaux séparés 0 et 16
Qualité vocale	8 bits/5 trames et 7 bits/6 trames	8 bits pour toutes les trames
Alarme	Inhibition digit 2	Via canal de signal
Mode de transmission	Bipolaire	Bipolaire
Débit	1,544 Mb/s	2,048 Mb/s

Tableau II. — Formats MIC.

Le tableau II compare les formats utilisés aux Etats-Unis et en Europe.

7. LA MODULATION DELTA

La MIC que l'on vient d'examiner est capable de suivre des signaux à évolution rapide. Or, dans les liaisons vocales, l'évolution des signaux reste lente et d'un échantillon à l'autre, l'écart est faible. Par conséquent, plutôt que de coder la valeur *absolue* de chaque nouvel échantillon, il est possible de coder uniquement le *sens de son évolution* (donc, sa dérivée). Il suffira d'un bit, 0 et 1, selon que la dérivée est positive ou négative. C'est ce qu'on appelle la *modulation delta.*

MODULATION DELTA

La figure 8 en donne le principe. L'onde analogique A est tout d'abord ascendante ; elle est échantillonée à chaque coup d'horloge et chaque échantillon est comparé à la valeur acquise antérieurement (onde B) ; celle-ci est simplement obtenue en intégrant en permanence le flux binaire de sortie (celui qui

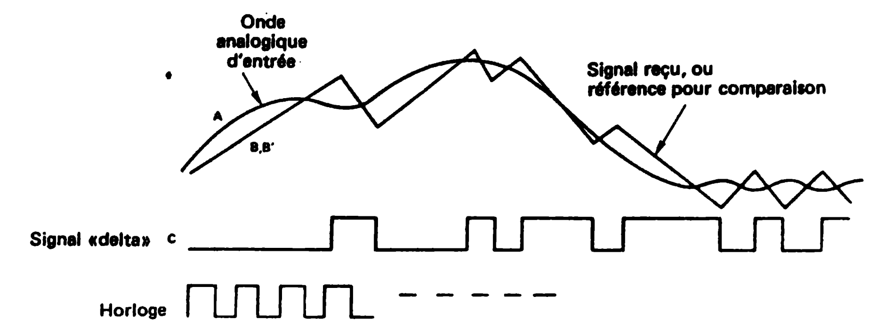


Fig. 8. — En modulation delta, c'est l'évolution de l'onde qui est codée, après comparaison avec la situation antérieure.

Modulateur
Micro
Filtre passe-bas
A
Horloge
CP
FLIP FLOP
D
Q
C
B
Intégrateur
V+
Démodulateur
B'
Filtre passe-bas
Ecouteur
V+
Intégrateur

Fig. 9. — Structure d'une chaîne à modulation delta.

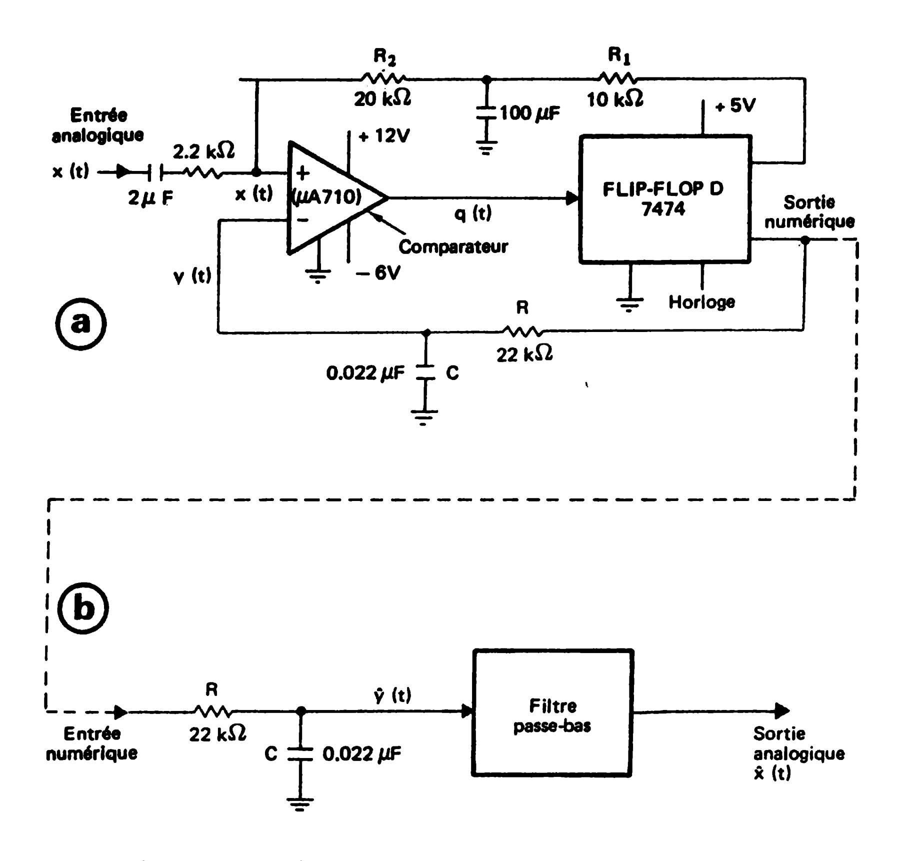


Fig. 10. — Exemple de réalisation d'un ensemble d'émission et réception en modulation delta, pour fréquences téléphoniques.

sera émis vers le récepteur). Par conséquent et au début, les bits restent à zéro. Dès que la dérivée s'inverse (l'onde redescend), le bit témoin passe à 1. On voit, sur ce schéma, que les bits sont *modulés en durée.*

Electriquement, ce principe se traduit par le schéma de la figure 9. Un filtre passe-bas suite le microphone et attaque un étage différentiel à deux entrées ; la deuxième entrée provient de l'intégration du signal « delta » de sortie et sert à comparer le signal actuel (entrée A) à la valeur antérieure (entrée B). Cet étage bascule ainsi en fonction du signe de la dérivée. Il est relié à son tour à une bascule du type D, synchrone, qui délivre le signal delta. A la réception, il suffit d'intégrer les créneaux modulés en largeur pour obtenir une duplication de la courbe d'origine.

Moins fidèle surtout lorsque les signaux évoluent plus vite, la modulation delta apparaît plus simple ; elle pourrait aussi n'occuper qu'une bande de fréquence réduite. Elle ne demande aucune synchronisation comme avec la MIC (où les mots qui se suivent doivent pouvoir être différenciés), se prête encore mieux au chiffrage (pour la transmission de messages secrets) et n'exige qu'un filtrage simple. Globalement, elle est plus économique que la MIC.

MODULATION DELTA LINÉAIRE

Ce type de modulation delta est dit *linéaire,* par opposition à la variante « adaptative » que l'on va examiner plus loin. L'horloge utilisée, si l'on veut conserver le même débit qu'en MIC (avec 8 000 échantillons de 8 bits, soit 64 k bits/s), pourra être de 64 kilobits par seconde. Pour transmettre la parole jusqu'à quelque 3 kHz, l'intégrateur peut avoir une constante de temps de l'ordre de la milliseconde. Un schéma-type est donné figure 10, en *(a)* pour le codeur et en *(b)* pour le décodeur (récepteur).

8. MODULATION DELTA ADAPTATIVE (CVSD)

La modulation delta *linéaire* souffre du même défaut que la MIC, pour les bas niveaux : la distorsion y est plus importante. En effet, le signal de contre-réaction appliqué au comparateur a un pas constant pour tous les niveaux ; la *distorsion de quantification* est donc constante et le rapport signal/distorsion est plus élevé aux faibles niveaux (c'est ce qu'on appelle encore rapport *signal/bruit de quantification*). Autrement dit, des *variations* du niveau analogique d'entrée passeront inaperçues si elles sont trop petites, à moins d'accroître la fréquence d'horloge pour réduire la durée de la rampe d'intégration qui sert de comparaison.

La solution à ce défaut est apportée à nouveau, comme avec la MIC, en contractant les pas aux faibles niveaux et en les dilatant aux forts. On utilise alors un dispositif dit de *compression de la dynamique* à l'émission, et d'expansion à la réception. On aboutit à ce qu'on appelle *modulation delta adaptative* (« ADM »), ou *à pente variable,* ce qui se code par le sigle CVSD pour les Américains (pour « *Continuously Variable Slope Delta* »). L'ensemble des circuits électroniques indispensables a pu être intégré en un seul circuit intégré par divers fabricants *(Harris, Motorola, Consumer Microcircuit...).*

MODULATION DELTA À PENTE VARIABLE — CVSD —

La modulation delta adaptative existe en deux variantes, *syllabique* et *instantanée,* selon que les pas varient instantanément ou sur des syllabes, ce qui implique des temps plus longs.

Le synoptique très simplifié d'une voie en modulation delta adaptative (ADM) est donnée figure 11. Une vitesse de transmission de 32 kbit/s peut, pour des signaux vocaux, se révéler aussi bonne en ADM qu'une liaison sur

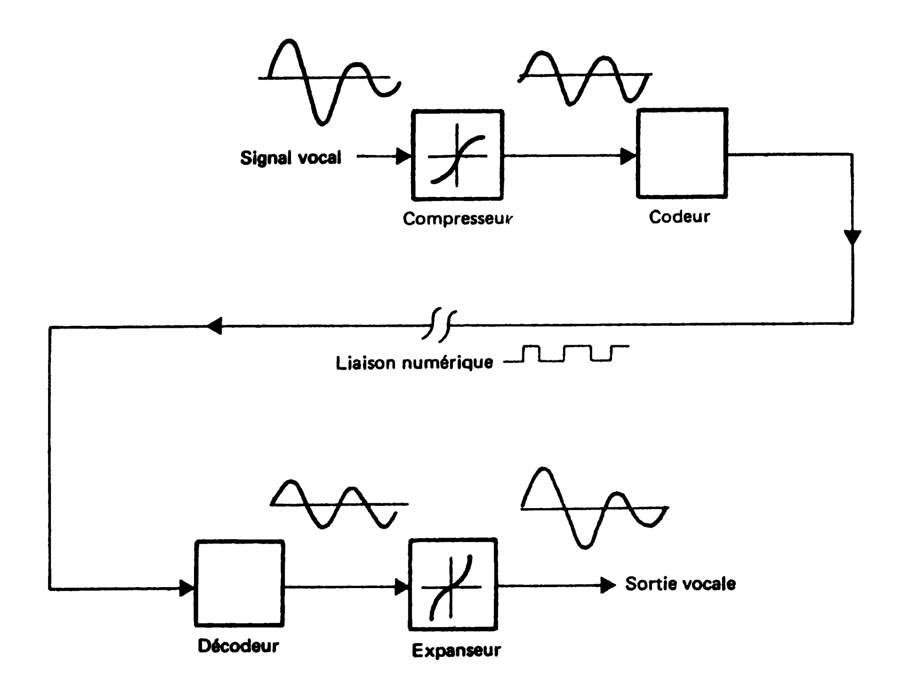
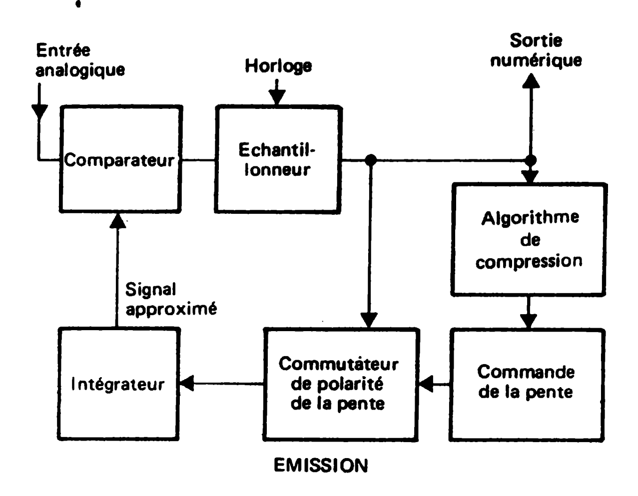


Fig. 11. — Principe d'une chaîne en modulation delta adaptative.

64 kbits/s en PCM (ou MIC). Les erreurs sur la transmission des bits (1 transformés en 0, ou l'inverse) sont également beaucoup moins sensibles, à l'écoute (réception), le signal restant intelligible même avec 10 % d'erreurs.

Un schéma-bloc plus développé de traitement ADM est présenté figure 12. La pente de l'intégrateur varie sous la commande de l'algorithme de compression. Souvent, on utilisera un registre à décalage qui met en mémoire la polarité de la pente pour plusieurs impulsions successives de l'horloge ; s'il n'y a pas d'inversion de sens pendant un certain temps, la pente est accrue ; si les inversions sont fréquentes, elle est réduite. La figure 13 en donne un synoptique plus complet, selon *Harris Semiconductor.* En fait, la boucle de réaction qui attaque la seconde entrée du comparateur comporte un véritable convertisseur digital-analogique qui, dans le cas du circuit HC-55516/32 de cette firme, travaille sur 10 bits (la conversion se fait par échelle R/2R).



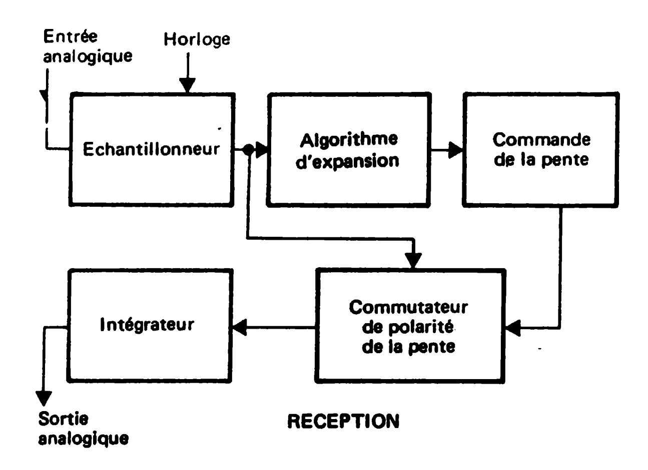


Fig. 12. — Synoptique d'un émetteur et d'un récepteur en delta adaptative.

MODULATION SIGMA-DELTA On peut éviter l'introduction de tels convertisseurs et même réduire la fréquence d'horloge en recourant à la *modulation sigma-delta* qui utilise les méthodes d'interpolation.

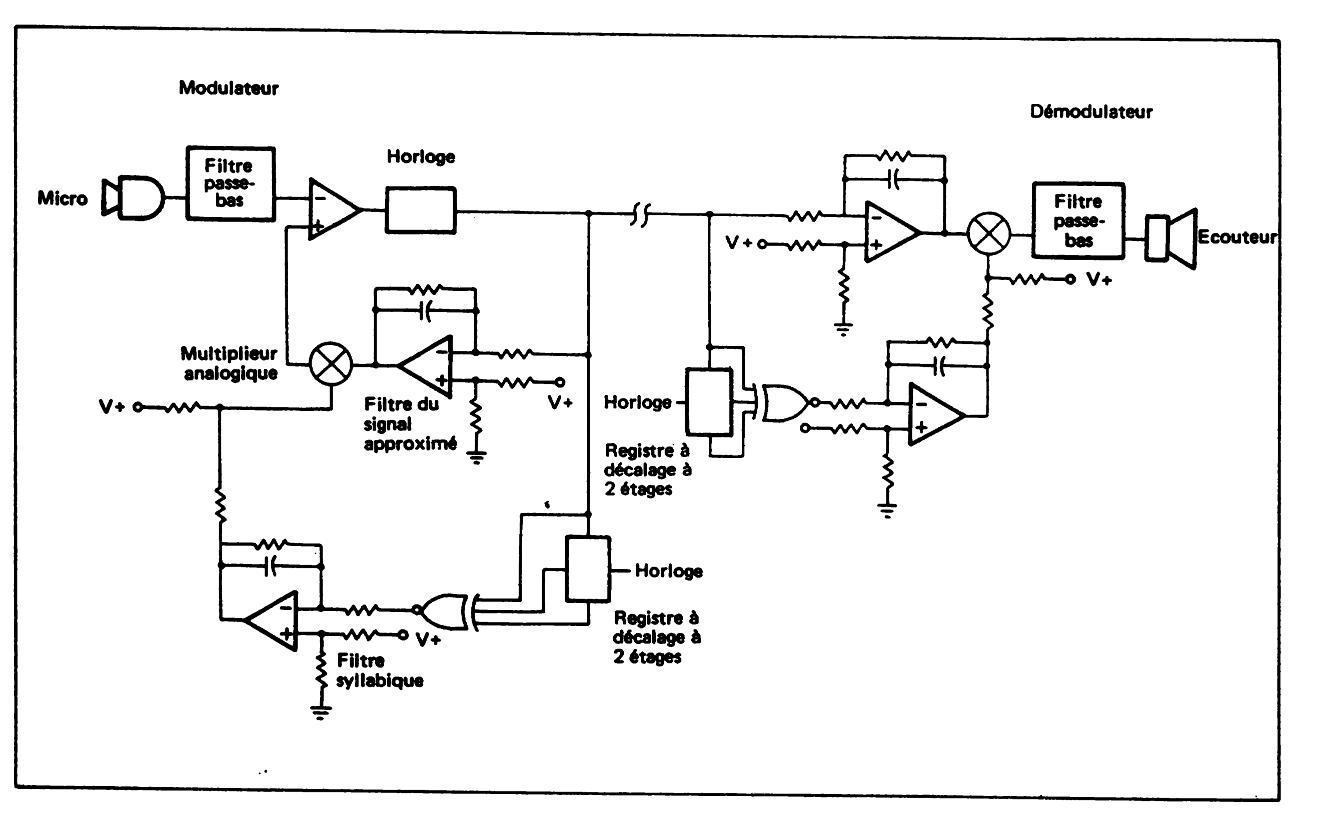


Fig. 13. — Structure plus détaillée d'une chaîne en modulation delta adaptative, du type syllabique.

CHAPITRE XIII

CODES BINAIRES

Le binaire par tout ou rien (niveaux 0 et 1) tel que l'ordinateur le traite n'est pas adapté aux besoins des lignes de communications. Celles-ci, par exemple, n'acceptent généralement pas de composante continue ; or, une suite de 0, ou une suite de 1 se comporte comme une composante continue. D'autre part, les propriétés du binaire habituel rendent difficiles certains problèmes de synchronisation ou de détection d'erreur.

Aussi a-t-on imaginé de très nombreux codes transposant le binaire, dont les principaux sont le « non retour à zéro » (NRZ), le RZ, les codes biphases et multiniveaux.

1. CODES UNIPOLAIRE, POLAIRE, BIPOLAIRE

CODE UNIPOLAIRE

Définissons, préalablement, la terminologie employée. Un code est dit *unipolaire* lorsque les niveaux utiles sont de même signe. Dans le cas des circuits intégrés TTL qui servent souvent de référence, ces niveaux seront de zéro volt pour le niveau *bas* logique (niveau 0) et de 3,5 V à 5 V pour le niveau *haut*, ou niveau 1.

CODE POLAIRE

CODES BIPOLAIRE, TERNAIRE

Un *code polaire* est un code dans lequel les deux niveaux sont de *signe opposé,* qu'ils soient symétriques ou non. Dans la figure 1, on a aussi représenté un code polaire asymétrique ; souvent, on dira du code polaire *symétrique* qu'il est *bipolaire.* Si, de plus, on se réfère également au niveau zéro, on aboutit à un code *ternaire.*

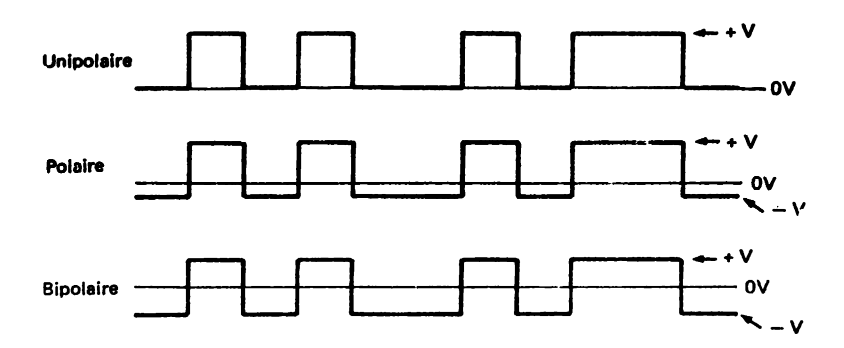


Fig. 1. — Différence entre codes unipolaire, polaire et bipolaire.

2. CODES NRZ

Le code le plus simple à réaliser est probablement le NRZ, ces initiales provenant de *Non Retour à Zéro.* Dans ce code, le niveau *haut* à coder ne donne pas naissance à une impulsion revenant à zéro, comme c'est le cas avec les codes RZ, ou à *Retour à Zéro ;* la figure 2 met en évidence en quoi réside la différence.

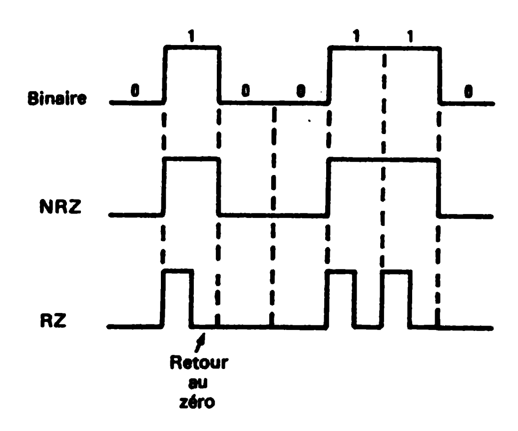


Fig. 2. — Un code RZ (retour à zéro) revient à zéro après chaque impulsion ; ce n'est pas le cas avec le NRZ (non retour à zéro).

CODES NRZ

Il existe plusieurs codes NRZ ; ils sont simples à créer et à décoder, mais présentent une forte composante continue. Les principaux sont :

- **Le NRZ/L : les niveaux logiques *hauts* et *bas* sont représentés par des niveaux unipolaires ou polaires de la façon la plus simple qui soit (fig. 3).**
- **Le NRZ/M : les niveaux logiques *hauts* provoquent un changement du niveau émis, quel qu'il ait été, alors que les niveaux logiques *bas* ne se traduisent par aucun changement.**
- **Le NRZ/S : c'est le symétrique du précédent. Un niveau *haut* ne provoque aucun changement alors qu'un niveau *bas* en déclenche un.**
- **On appellera également NRZI *(« Non Return To Zero Inverted »)* un code dans lequel un changement d'état est provoqué par un changement de niveau binaire.**

2.1. Le NRZI

Ainsi, et avec le NRZ, on travaille sur deux niveaux correspondants au 0 et au 1 binaires. La lecture d'un enregistrement NRZ peut se faire en détectant simplement un *changement de niveau* (sans lire une valeur absolue) et en positionnant en conséquence un flip-flop ; c'est souvent ainsi que l'on procède mais, malheureusement, il suffit de manquer une seule inversion pour que toute la chaîne des informations lues ensuite positionne « à l'envers » le flip-flop : c'est ce qu'on appelle ***l'erreur de propagation.***

Pour l'éviter, on préfère alors employer le NRZ ***inversé,*** noté NRZI. Ici, un 1 provoque une inversion du niveau, quel que soit son niveau précédent (0 ou 1), un 0 laissant le même niveau (fig. 4).

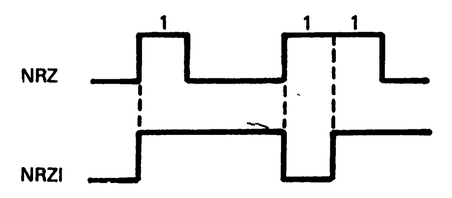


Fig. 4. — En NRZI, le niveau bascule pour chaque 1.

Ainsi, et même si l'on manque une lecture d'un 1, la chaîne qui suit n'est pas affectée : on supprime l'erreur de transmission.

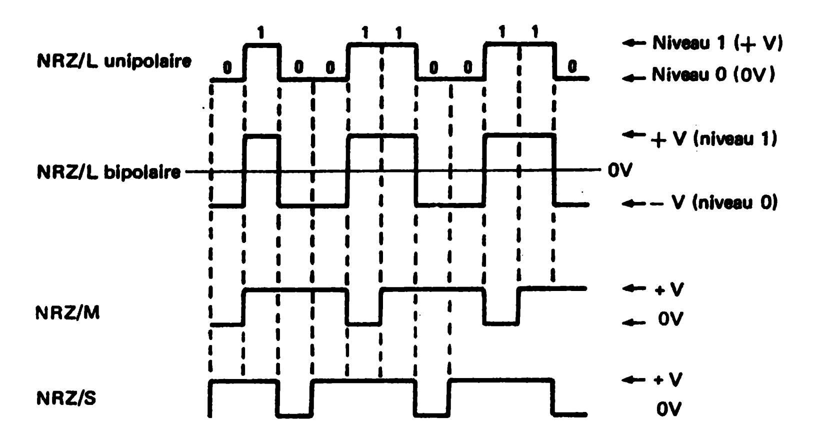


Fig. 3. — Caractéristiques de quatre codes NRZ.

3. CODES RZ

Les codes RZ, pour *Retour à Zéro,* associent une horloge aux signaux émis et sont ainsi à synchronisation intrinsèque.

PRINCIPAUX CODES RZ

• Le RZ de base, *unipolaire.* Pour l'obtenir, on applique à une porte logique ET à deux entrées le signal binaire, du type NRZ/L, et une fréquence double d'horloge (fig. 5).

• Le *code à modulation de position,* appelé PPM pour *« Pulse Position Modulation ».* Les 0 et 1 se traduisent par des impulsions de 1/4 de la durée du bit, situées dans le premier quart pour les 0, le troisième quart pour les 1 (fig. 6).

• *Modulation de largeur d'impulsion :* on appelle PWM pour *« Pulse Width Modulation »* ou PDM, pour *« Pulse Duration Modulation ».* Ici, si l'on divise par trois la durée d'un bit, un zéro sera représenté par un niveau maintenu un tiers du temps et un 1 par un niveau s'étendant sur 2/3 (fig. 7). On remarquera que chaque flanc montant correspond au départ d'un nouveau bit, ce qui permet d'extraire aisément un signal d'horloge.

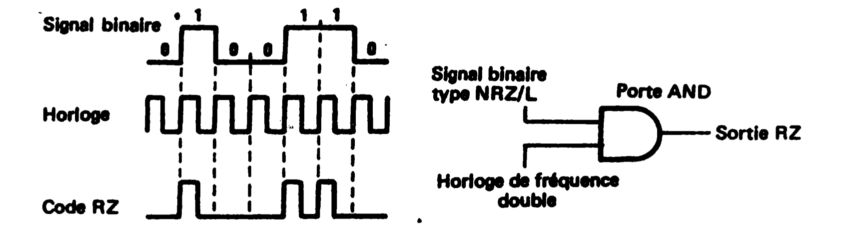


Fig. 5. — Réalisaion d'un signal RZ.

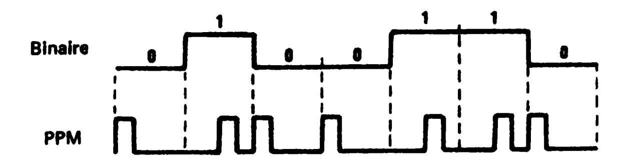


Fig. 6. — Code RZ à modulation de position (PPM).

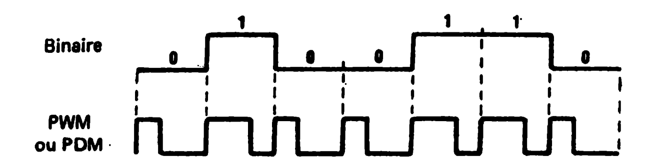


Fig. 7. — Code RZ à modulation de largeur d'impulsion.

4. CODES BIPHASES L, M ET S

Avec les codes biphases, on supprime la composante continue (à l'exception d'un seul). Ils restituent aisément le rythme mais offrent parfois une certaine ambiguïté d'horloge.

PRINCIPAUX CODES BIPHASES

• Le BI-L, ou *code Manchester,* appelé encore PSK, pour « *Phase Shift Keying* ». Il est obtenu en appliquant simultanément à une porte OU exclusif, cette fois, le signal binaire et une horloge de période moitié de la durée d'un bit (fig. 8). On constate qu'à chaque bit, une transition se manifeste ; si deux bits qui se suivent sont de même niveau, il y a transition ; s'ils sont différents, il n'y a pas de transition « à l'interface ».

• Les codes FSK (pour « *Frequency Shift Keying* »), qui se subdivisent à leur tour en plusieurs variantes *complémentaires* (codes M ou codes S), ou à transition *au milieu* (code 1) ou *au début* (code 2) :

— Le biphase M-1 comporte toujours une transition à mi-bit, pas de transition au début pour les 1, une transition au début pour les 0. Etudié plus particulièrement par *TRT* sous le nom de *biphase différentiel,* il a fait l'objet d'une contribution XVII-56 du *CCITT.* On remarquera que le codage d'un zéro reprend le codage du bit précédent et celui d'un 1 son inverse (fig. 9).

— Le biphase M-2 marque toujours une transition au début d'un bit, une transition au milieu pour les 1, une absence de transition au milieu pour les 0.

— Le biphase S-1 offre une transition au milieu, et à l'inverse du M-1, une transition au début pour les 1 et pas de transition pour les 0.

— Enfin, le biphase S-2 est, lui aussi, l'inverse du M-2 avec une transition obligatoire au début mais à mi-bit, pas de transition pour les 1.

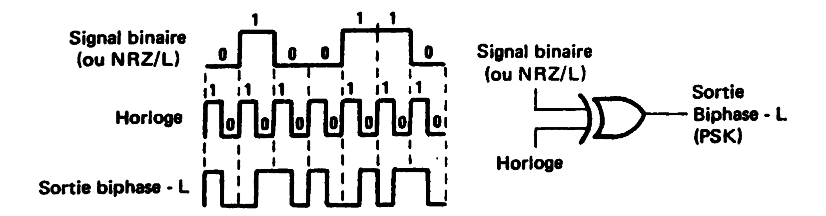


Fig. 8. — Réalisation d'un code biphase-L.

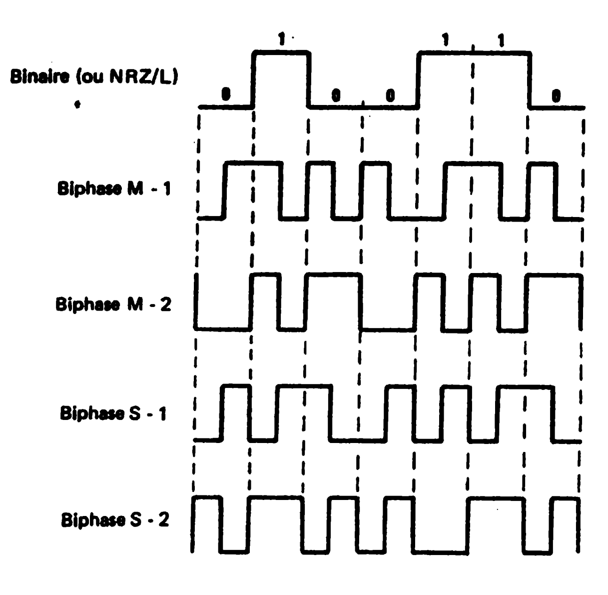


Fig. 9. — Quatre codes biphases

5. Codes Miller (DM)

Les codes à *modulation de délai* (DM), appelés aussi *codes Miller,* ou codes MPDC *(« Modified Phase Delay Coding »)* font également partie des codes biphases. Ils existent en plusieurs variantes, dont le DM fondamental, sa variante modifiée DM/A et celle à bande réduite DM/BR, le Manchester modifié ou biphase différentiel (BI/DI), le code par opposition de phase modifié (MPSK)...

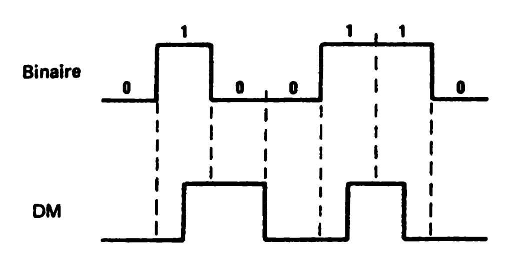


Fig. 10. — Code à modulation de délai (DM).

Dans le DM, un 1 se traduit par une transition à mi-bits alors qu'un zéro ne donne lieu à une transition en fin de bit que si le bit suivant est un zéro (fig. 10).

6. CODES FM et MFM

Les codes FM (modulation en fréquence) et MFM (modulation en fréquence modifiée) fournissent d'abord l'impulsion d'horloge, puis l'impulsion de donnée. On utilise souvent le premier pour enregistrer des disquettes en simple densité, le second en double densité.

La figure 11 montre, en *a,* le code FM. Chaque temps attribué à un bit reçoit d'abord l'horloge H, puis la donnée D, à 1 où à zéro, celle-ci se plaçant à mi-chemin. Si la durée totale est de 4 μs, le bit de donnée est centré sur 2 μs. En MFM, l'horloge n'apparaît que si le bit de donnée est à zéro, et encore à la condition qu'un zéro le précède déjà, mais est supprimée s'il est à 1 (en *b*). On constate qu'effectivement, la densité d'information peut doubler : le temps d'un bit est ramené, ici, à 2 μs.

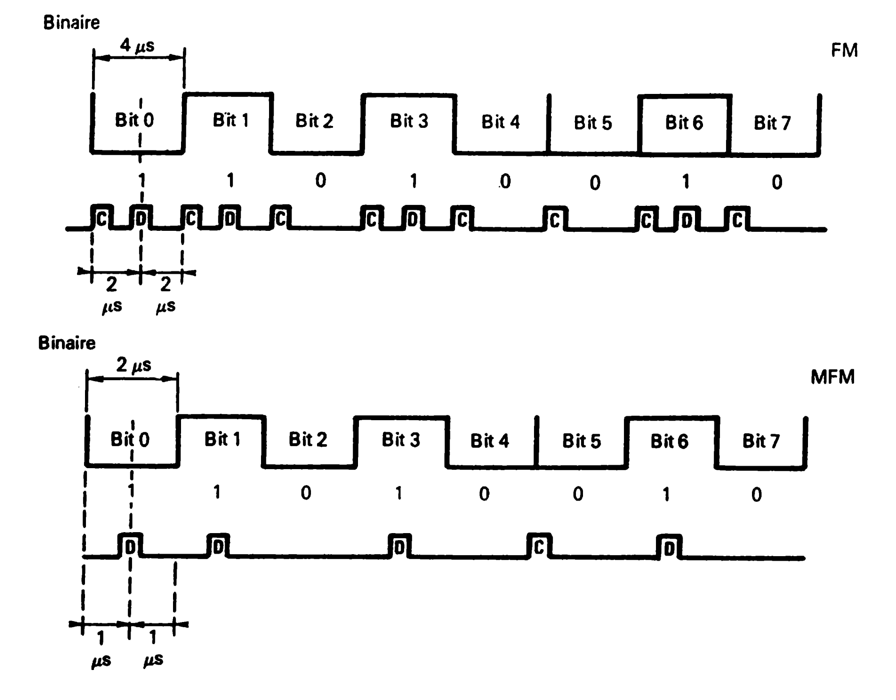


Fig. 11. — Modulations FM et MFM.

7. CODES MULTINIVEAUX

Les codes multiniveaux, ou MLB *(« Multi Level Codes »)* qu'on va examiner utilisent trois niveaux : le zéro, et + V et − V symétriques. On va voir qu'il ne s'agit pas, ici, de codes ternaires ; aussi les appelle-t-on parfois de *pseudo-ternaires.* Les principaux sont :

- *Le retour à zéro,* où le 1 se traduit par une impulsion positive et le zéro par une impulsion négative, durant dans les deux cas un demi-bit (fig. 12).
- *Le code à inversion d'impulsions* (BN-NRZ, ou AMI) : les zéros ne donnent naissance à aucune impulsion, alors que les 1 créent des impulsions de polarité alternée.
- *Les codes :* bipolaire RZ, le dicode, etc. On en énumère en effet plus d'une dizaine.

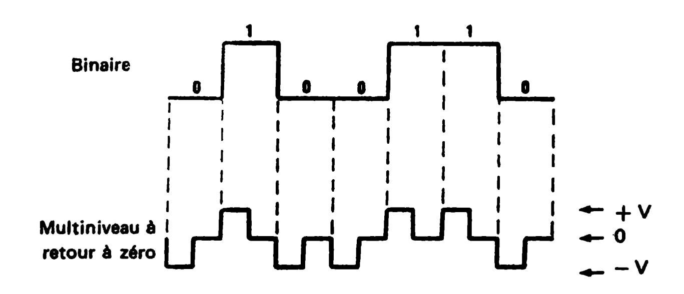


Fig. 12. — Exemple de code multiniveau (mais non ternaire).

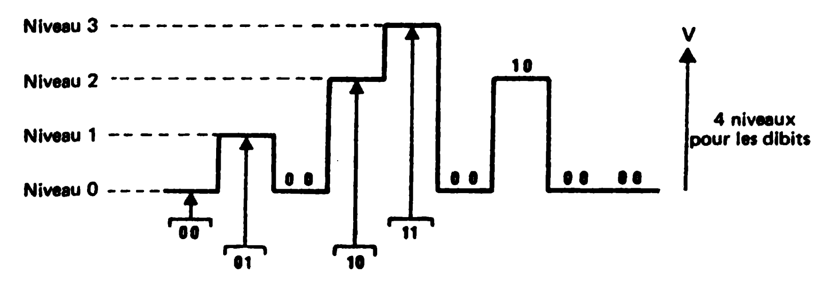


Fig. 13. — Quatre niveaux de tension servent à coder des dibits.

BITS PAR SECONDE ET BAUDS

A propos de ces codes numériques, arrêtons-nous un instant sur des définitions fondamentales. Il ne faut pas confondre *bits par seconde* et *bauds*, car ces deux unités de mesure de débit de transmission d'informations numériques ne sont pas synonymes :

BAUD • Un débit mesuré en *bauds* indique le nombre d'*états discrets* ou de *niveaux transmissibles* en une seconde.

BITS/S • Un débit mesuré en *bits par seconde* indique le nombre de bits transmis pendant l'unité de temps, c'est-à-dire le nombre de niveaux 0 ou 1 car il n'y en a alors que deux possibles.
Pour bien montrer la différence, examinons le cas d'une transmission par groupes de deux bits, appelés *dibits*. Il faudra 4 niveaux de tension pour coder les quatre combinaisons possibles (fig. 10.11) :

Niveau 0 → 00
Niveau 1 → 01
Niveau 2 → 10
Niveau 3 → 11

Si, en une seconde, on transmet deux niveaux de tension, on aura transmis *quatre bits*. La vitesse est alors de :

• 4 bits par seconde, ou de : • 2 bauds.

En effet, si l'on transmet par exemple les débits de niveaux 2 et 3, on aura transmis le mot binaire 1011, soit un quartet.
Supposons qu'en transmission série asynchrone, on travaille avec des caractères ASCII codés sur 10 bits et à la vitesse de 1 200 *bits par seconde*. Chaque bit occupe alors 833 microsecondes, et un caractère 8,33 ms. En transmettant des dibits avec la même cadence, soit 1 200 par seconde et donc *en travaillant toujours à 1 200 bauds*, chaque caractère n'occupera plus que 4,165 ms. On en transmettra deux fois plus dans le même temps, soit 2 400 bits/seconde.
La figure 10.12 montre comment le même message peut ainsi être émis en 16 coups d'horloge en binaire, et en 8 coups seulement en dibits ; dans le premier cas, le débit est deux fois moindre.
Des configurations autres que les dibits existants. En conclusion, on ne peut donc confondre bauds et bits/seconde que lorsque la liaison est assurée en binaire sur deux niveaux.

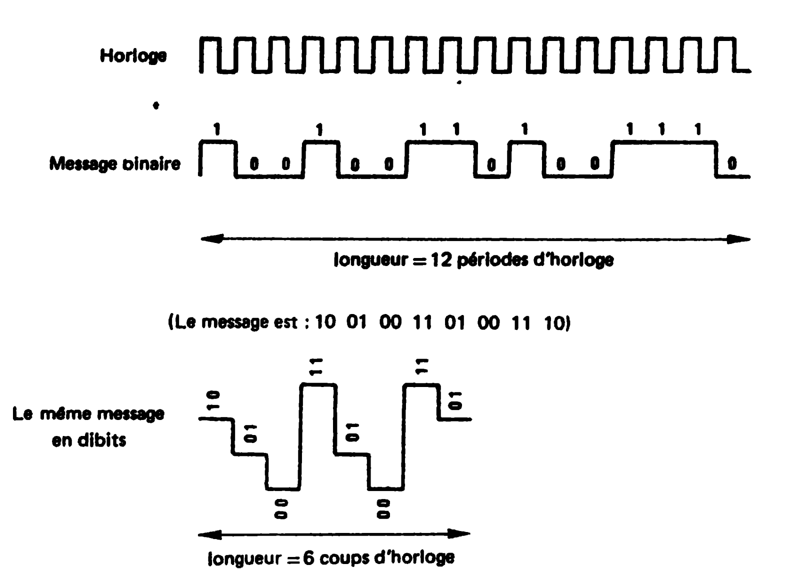


Fig. 14. — Comparaison entre l'émission d'un même message en binaire et en dibits.

Exemples de calcul du débit en bauds

Le débit, en bauds, est l'inverse de la durée (en secondes) du plus court signal transmis (qu'il soit appelé *marque, espace,* 0 ou 1). Si la durée est de 20 ms, soit 0,02 s, le débit sera :

1/0,02 = 50 bauds,

ce qui est le débit caractéristique du télex.

CHAPITRE XIV

LES CODECS

En téléphonie, on s'oriente vers la conversion en numérique des ondes analogiques. Une fois traduites en un flot série de bits, ces informations sont plus aisées à manipuler et à transmettre. On peut en effet assurer leur compression-expansion, les multiplexer, les régénérer en cours de route sans crainte des bruits, les mémoriser ou les crypter, utiliser des centres de commutation qui ne sont autres que des ordinateurs, etc. Les circuits spécialisés qui assurent la conversion analogique à numérique, et vice-versa, en appliquant des règles spéciales, s'appellent des codeurs-décodeurs, ou CODEC..

1. FONCTIONS DES CODECS

Un *co*deur-*déc*odeur, contracté sous le nom de *codec,* se présente sous forme d'un ou de plusieurs circuits intégrés monolithiques. Implanté dans un poste téléphonique ou un central, il a pour mission de convertir le signal analogique du microphone en un train série numérique à l'émission, et le train numrique en une onde analogique à la réception. Destiné en tout premier lieu aux changes vocaux il peut, si sa vitesse est suffisante, traiter aussi des images ou tout autre signal analogique à l'origine.

La conversion d'un signal analogique en numérique est exécutée selon le principe de la *modulation par impulsions codées,* ou MIC, déjà étudiée. La figure 1 en rappelle le principe : l'onde analogique est échantillonnée ; on obtient des impulsions *modulées en amplitude,* ce qu'on appelle « PAM », pour « Pulse Amplitude Modulation » ; ces impulsions sont ensuite converties en binaire.

MODULATION D'IMPULSIONS EN AMPLITUDE

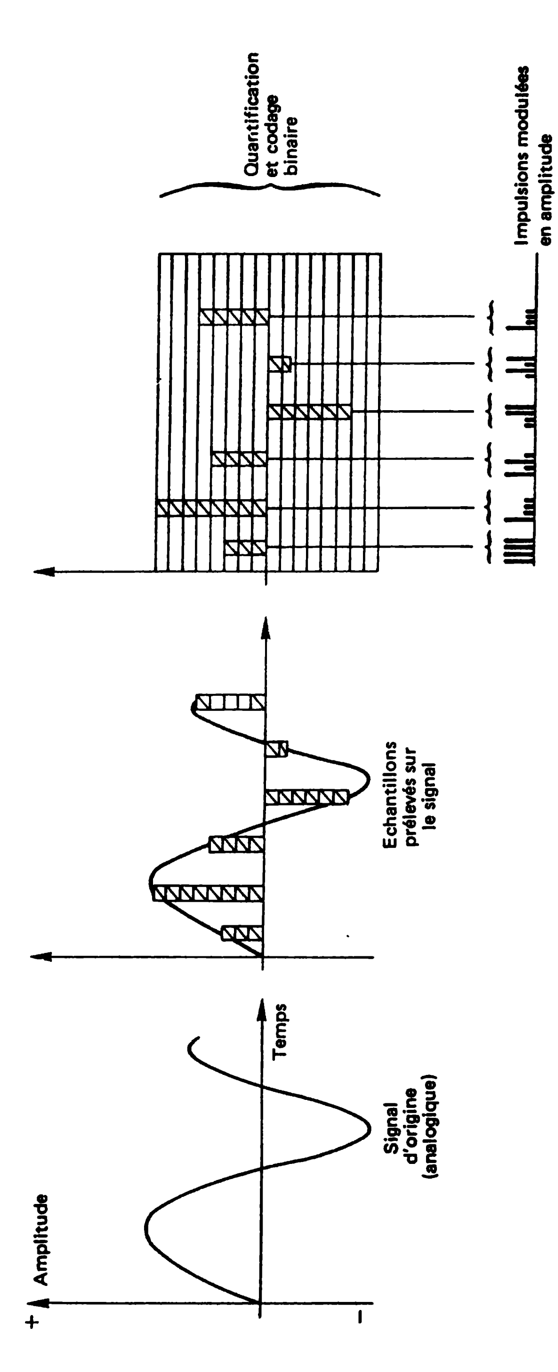


Fig. 1. — Principe de l'échantillonnage et du codage en numérique (« MIC »).

A la réception, on reconstitue l'onde d'origine à partir de ces données binaires. Malheureusement, si l'onde originale est *x(t)*, l'onde reconstituée *y(t)* comportera des approximations car le nombre de niveaux de codage, au départ, est limité. L'erreur résultante est ainsi inversement proportionnelle au nombre de niveaux de quantification retenus. Si n est le nombre d'impulsions codant un échantillon, le nombre maximal de niveaux sera de 2^n et le pas d'un niveau sera égal à $1/2^n$ de l'amplitude totale.

DISTORSION DE QUANTIFICATION

L'erreur résultante, appelée *distorsion* (ou *bruit*) *de quantification,* qui se traduit par un bruit blanc, est donnée, si n est suffisamment grand et si E est cette erreur par $E^2 = q^2/12$ où q est le pas d'un niveau et égal à $1/n$, tous les pas étant également espacés.

Or, la dynamique d'un échange téléphonique peut atteindre 40 dB. L'erreur de quantification étant constante, elle est identique pour des signaux faibles ou forts. Il en résulte qu'aux faibles signaux, le rapport signal sur bruit peut être de 40 dB supérieur à ce qu'il est aux signaux forts, ce qui est inadmissible, d'autant plus que les échanges à faibles signaux sont, et de loin, les plus fréquents.

La solution à ce problème, qui a déjà été développée dans le chapitre consacré à la MIC, consiste à réduire les pas de quantification aux faibles niveaux et à les accroître vers les forts. Ce faisant, on opère une compression aux fortes amplitudes ce qui réduit d'autant la bande passante dynamique.

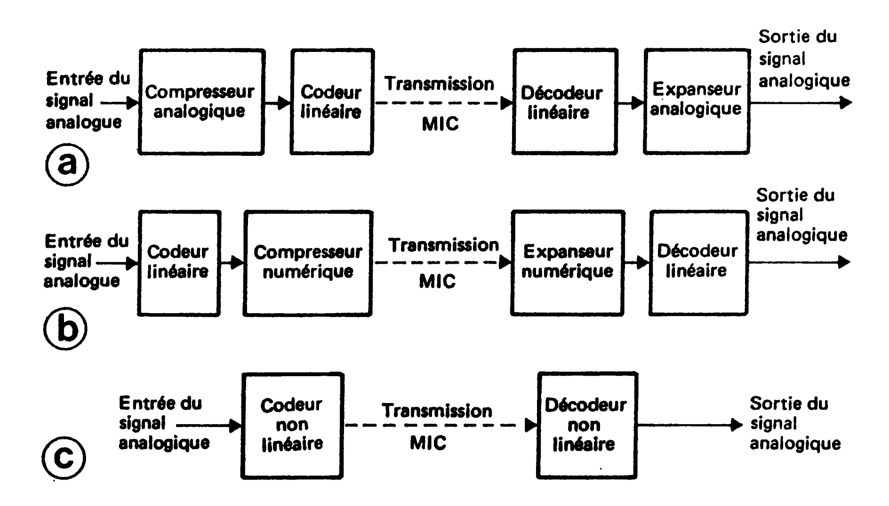


Fig. 2. — Trois façons de réaliser un codage avec compression-expansion : celle-ci porte sur le signal analogique (a), numérique (b) ; ou encore, c'est le convertisseur lui-même qui présente la courbe quasi-logarithmique requise (c)

Trois méthodes peuvent être adoptées (fig. 2). Selon la première, la compression se fait sur l'onde analogique ; avec la seconde, on agit après conversion en numérique ; le processus est plus fiable et reproductible mais exige un convertisseur analogique-numérique plus précis et plus rapide. Quant à la troisième, elle constitue un compromis entre les précédentes et recourt à un convertisseur A/N multiplieur, avec références variables ; en pratique, c'est le moins complexe.

Si, à l'émission, on comprime les signaux, il faudra bien évidemment assurer une expansion symétrique à la réception, par les mêmes procédés ; par exemple, on utilisera un convertisseur numérique-analogique (N/A) avec référence variable).

LOIS DE COMPRESSION-EXPANSION Deux lois de compression-expansion co-existent, l'une pour les USA, la loi μ, et l'autre pour l'Europe, la loi A. Si l'on appelle x le niveau relatif d'entrée du compresseur tel que x = Vin/Vmax et si y est son niveau de sortie, on aura :

1) — La loi américaine μ :

$$y = [\log(1+\mu x)] / [\log(1+\mu)]$$
$$\text{pour } -1 \leq x \leq 1$$
$$\mu = 255$$

L'approximation se fait sur 15 segments.

2) — La loi européenne A :

$$y = (1 + \log Ax) / (1 + \log A)$$
$$\text{pour } 1/A \leq x \leq 1$$
$$y = Ax / (1 + \log A)$$
$$\text{pour } 0 \leq x \leq 1/A$$
$$A = 87{,}6$$

L'approximation se fait sur 13 segments.

2. STRUCTURE TYPE

La lutte est vive entre les différentes structures et versions de codecs proposés. Examinons un codec type, avant de généraliser, et par exemple le MK 5150 de *Mostek* (fig. 3). Son architecture montre que le circuit intégré comporte deux sections distinctes, émission et réception, chacune dotée de son convertisseur propre, lequel fonctionne sur 13 bits. Afin de réduire la consommation, le MK 5150 est en technologie CMOS : il consomme 30 mW sous 5 V.

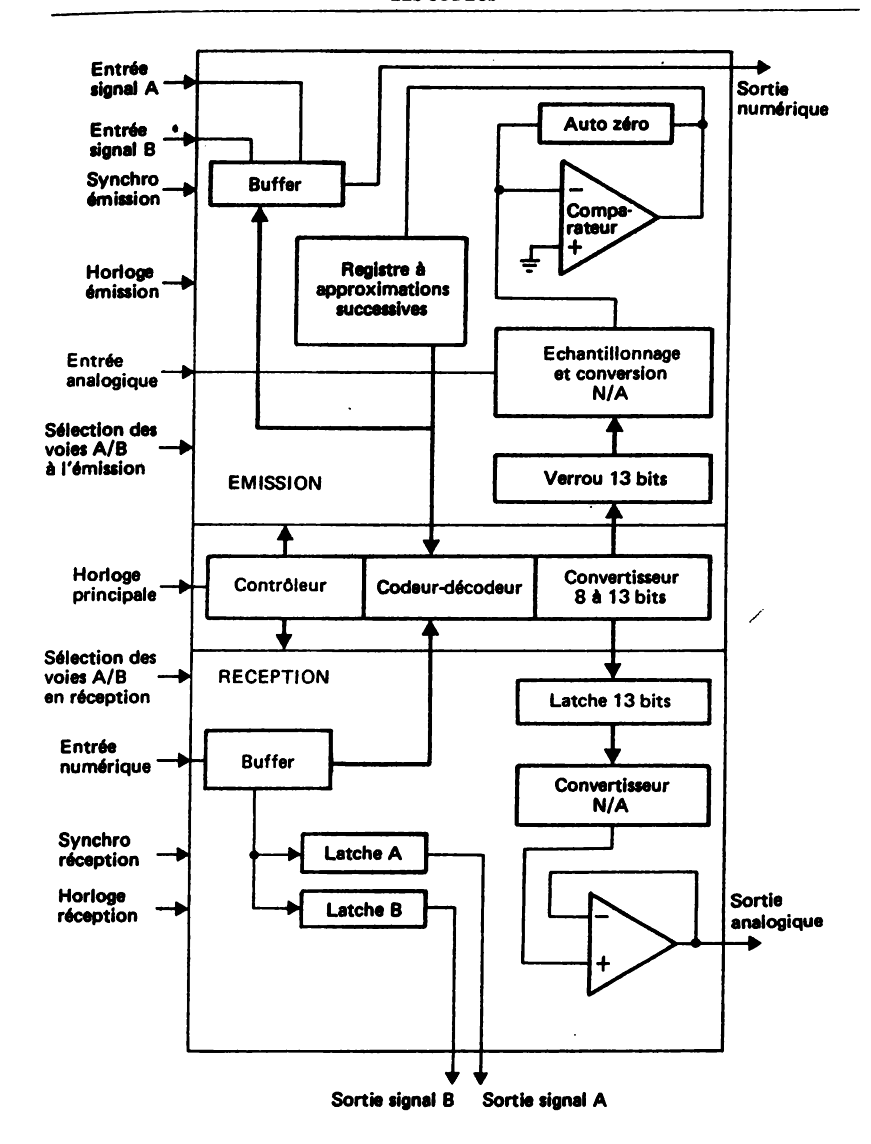


Fig. 3. — Synoptique d'un codec-type, le MK 5150 de Mostek. Il comporte deux sections bien distinctes, émission et réception.

En mode réception, les bits reçus sont introduits en série dans un buffer au rythme de l'horloge, puis appliqués en parallèle à un convertisseur 8 à 13 bits et enfin convertis en analogique. Un dernier amplificateur opérationnel à gain unité sert de tampon de sortie. Un tel schéma répond ainsi à la seconde des

structures de la figure 2, puisque c'est le convertisseur numérique-analogique qui, ici, est linéaire. Pour chaque groupe de 12 trames standards de 125 μs, seule une conversion sur 7 bits est assurée, le 8e étant orienté vers un latche (verrou) et servant à signaler une valeur analogique de un demi-pas, afin de réduire la distorsion. A l'émission, le fonctionnement est assuré sur les mêmes principes.

L'horloge va de 1 544 à 2 048 kHz. Le convertisseur numérique-analogique travaille selon le principe des charges distribuées (fig. 4), à capacités, avec zéro automatique.

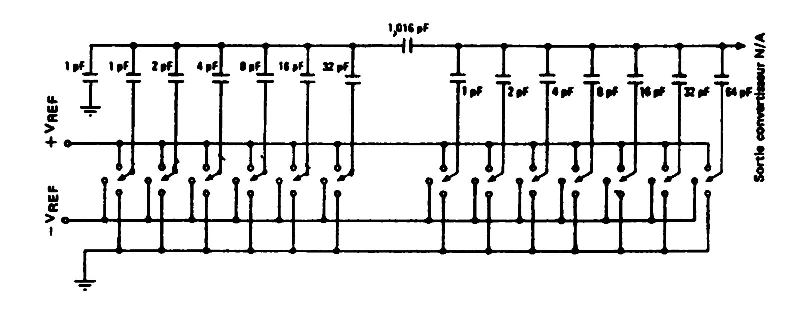


Fig. 4. — Le convertisseur numérique-analogique du MK 5150 fonctionne selon le principe de la « commutation de capacités ». Puisque ce convertisseur est linéaire et intervient après l'expansion, il est non pas sur 8 mais sur 13 bits.

3. FILTRES

Chaque codec doit être accompagné de filtres dont le rôle est le suivant :

• *A l'émission, le filtre est du type passe-bande.* Il doit laisser passer de 300 à 3 000 Hz à ±0,125 dB, par exemple, et éliminer les fréquences hors bande. Par exemple, la fréquence secteur à 50 Hz doit être atténuée à − 18 dB ; ou encore une éventuelle fréquence d'entrée autour des 8 kHz qui pourrait interférer avec la fréquence d'échantillonnage de la courbe analogique doit être éliminée.

• *A la réception,* les filtres interviennent pour lisser le signal analogique reconstitué, éliminer les hautes fréquences résiduelles et corriger la courbe de réponse globale.

FILTRES INTÉGRÉS Réalisés en composants discrets tout d'abord, ces filtres se manifesteront de plus en plus sous forme de circuits intégrés indépendants ou seront intégrés sur la même puce que le codec. La figure 5 montre le synoptique d'une chaîne

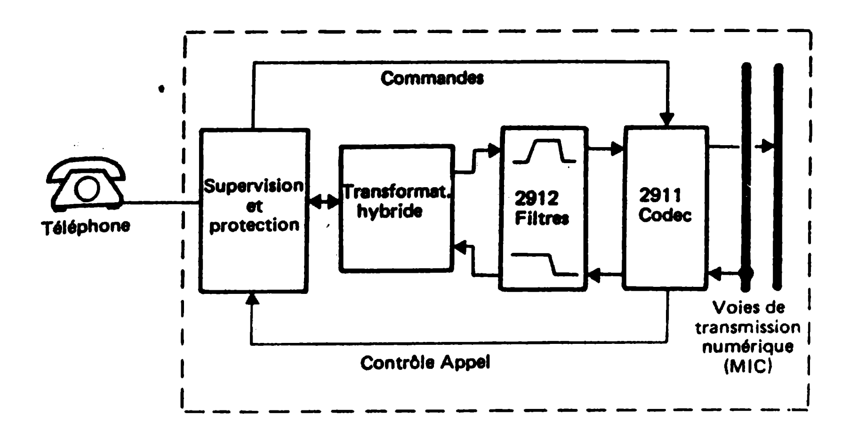


Fig. 5. — La place des filtres dans une liaison téléphonique en numérique.

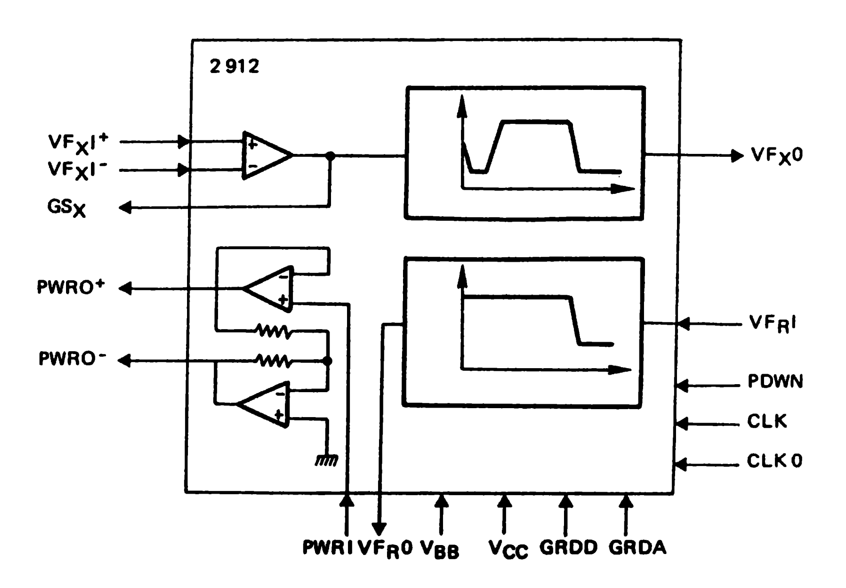


Fig. 6. — Synoptique du circuit 2912 de Intel : il contient les filtres nécessaires à la liaison téléphonique en MIC.

dans laquelle ces filtres sont intercalés entre le transformateur hybride et le codec, selon un schéma et des références *Intel*. Ici, les filtres, en un circuit intégré référencé 2912, à 16 broches, sont réalisés sur le principe de la commutation de capacité à haute fréquence (256 kHz), ce qui fait qu'une faible capacité (de l'ordre du picofarad) apparaît comme une résistance de valeur élevée (gamme des mégohms). Des capacités fixes, celles-là, complètent ce réseau RC apparent. D'autres structures sont évidemment réalisables sur d'autres principes.

Dans le cas du 2912, dont le synoptique est donné figure 6, les courbes et gabarits de filtrage à l'émission et à la réception sont donnés dans les figures 7 et 8.

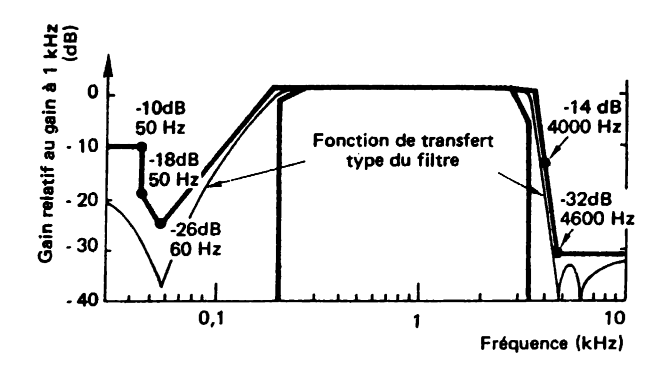


Fig. 7. — Courbe de correction à l'émission.

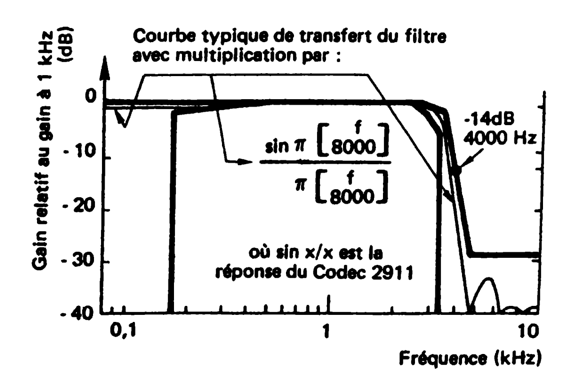


Fig. 8. — Courbe de correction à la réception.

4. MONOVOIES ET MULTIVOIES

La plupart des codecs commercialisés s'appliquent à une seule voie téléphonique. On peut cependant fort bien imaginer que de multiples lignes arrivent à un multiplexeur qui les échantillonne à grande vitesse et attaque ensuite un codec. Dans ce cas, le codec doit pouvoir travailler à très haute vitesse, ce qui implique l'emploi de technologie bipolaires.

C'est ce qu'a réalisé *Precision Monolithic Inc.* (PMI). Avec un codec dit, pour cette raison, *multivoie* (les autres étant appelés *monovoies*). Le convertisseur est un « COMDAC », de références DAC 86 ou 87, et il peut soit servir aussi bien à l'émission qu'à la réception (fig. 9), soit être doublé (fig. 10).

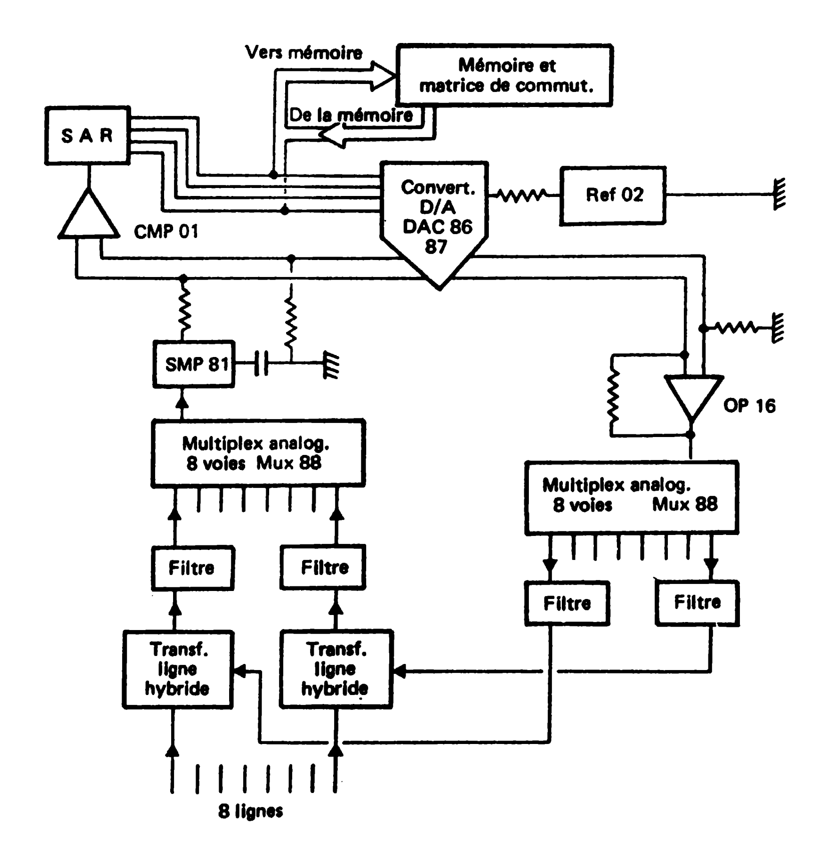


Fig. 9. — Chaîne dite « multivoie », avec multiplexage des voies analogiques et un seul convertisseur digital à analogique.

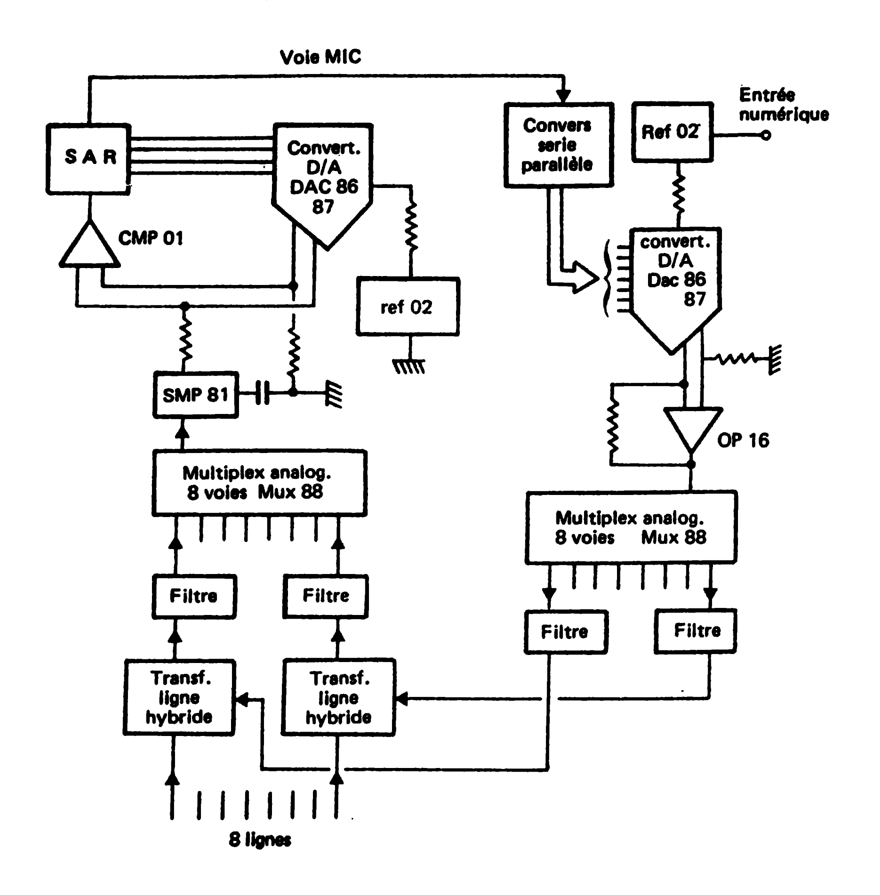


Fig. 10. — Chaîne mutlivoie avec deux convertisseurs numérique-analogique, des DAC 86/87 de PMI.

Dans le cas où de multiples lignes sont regroupées, cette façon de procéder pourrait être économiquement plus intéressante ; par contre, elle offre l'inconvénient d'une centralisation et le passage par des circuits très rapides.

5. ARCHITECTURES ET TECHNOLOGIES

Pour permettre de grandes densités d'intégration et pour réduire les consommations, puisque c'est la ligne téléphonique qui alimente l'ensemble des circuits, les meilleures technologies doivent être utilisées. On trouvera donc surtout des NMOS, mais aussi la I2L et les CMOS. Les architectures peuvent être aussi diverses que possible ; en voici quelques exemples.

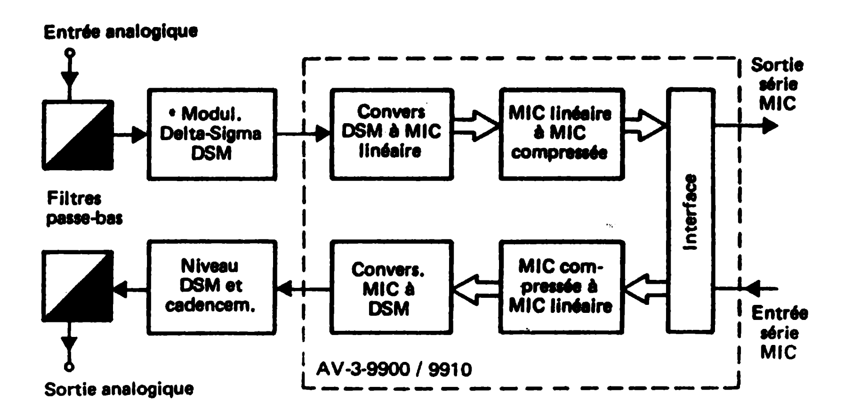


Fig. 11. — Synoptique du codec AY-3-9900 de General Instrument.

Dans la figure 11, c'est le synoptique du codec AY-3-9900 de *General Instrument* qui a été dessiné. Ce codec travaille en modulation sigma-delta ; les filtres (non intégrés) sont placés sur les voies analogiques ; l'échantillonnage se fait à 2 048 kHz (car il s'agit de modulation *delta*), ramenés à 64 kilobits par seconde après compression. On retrouve alors les valeurs normalisées (32 voies de 64 Kbits/s donnent 2,048 MHz).

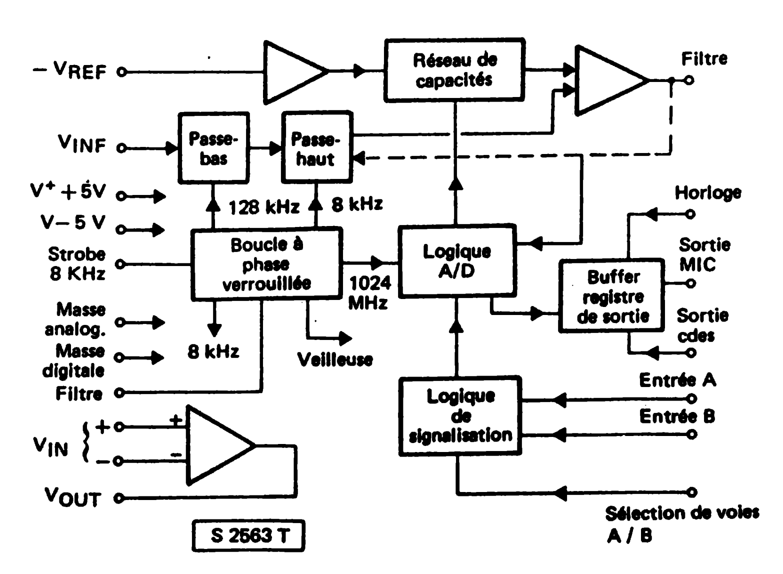


Fig. 12. — Le 2563 de AMI : il devrait inclure les filtres sur la même puce que le codec, mais serait réalisé en deux circuits, émission (dessinée ici) et réception.

Dans le S 2563 T de *AMI,* annoncé en 1979 et en CMOS, les filtres ont été incorporés sur la puce codec. Monovoie, il se présente en deux circuits, l'un pour l'émission et l'autre pour la réception. La voie émission est dessinée figure 12.

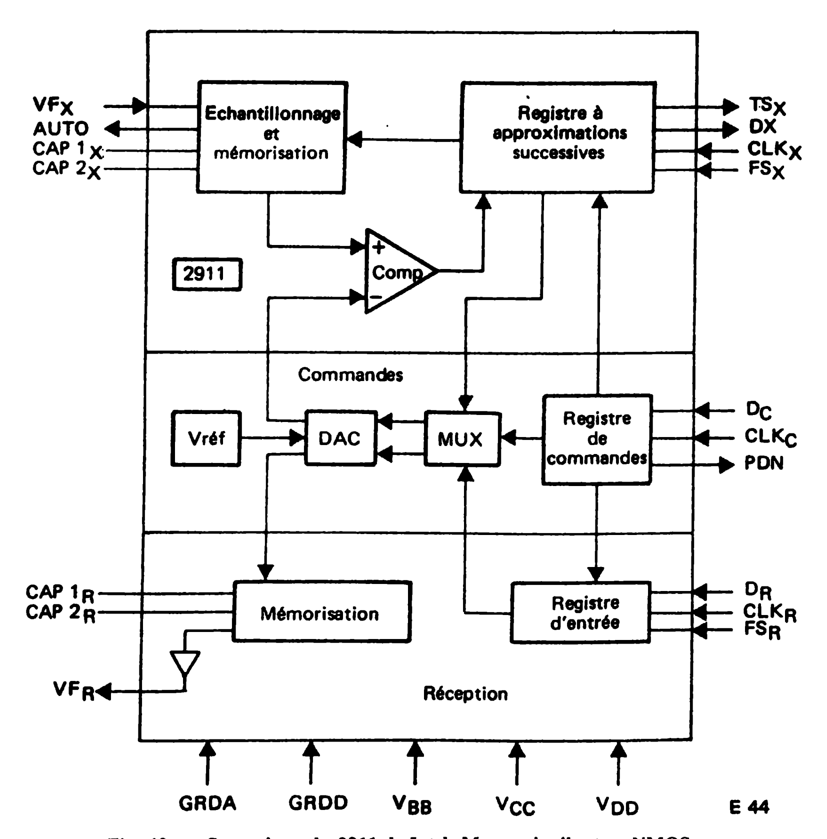


Fig. 13. — Synoptique du 2911 de Intel. Monovoie, il est en NMOS.

Le codec de *Intel* (fig. 13), le 2911, est en NMOS. Il s'associe aux filtres intégrés 2912 déjà cités comme le montre la figure 14.

Le ST 100 de *Signetics,* lui, est en I2L (fig. 15), alors que *National Semiconductor* mixe les technologies selon qu'il s'agit des traitements analogiques (en BiFet) ou numériques (en CMOS) ; le codec appelé TP 3002 apparaît alors en deux circuits intégrés : le LF 3700, Bifet à 20 broches, et le MM 58150 en CMOS et à 22 broches (fig. 16).

Le MC 14406 de *Motorola* est aussi en CMOS, et en boîtier 28 broches ; sa version simple est la MC 14407 (24 broches). La sélection de loi de compression, μ ou A, se fait à l'aide d'une broche (fig. 17) repérée μ/A. Puisque *Mo-*

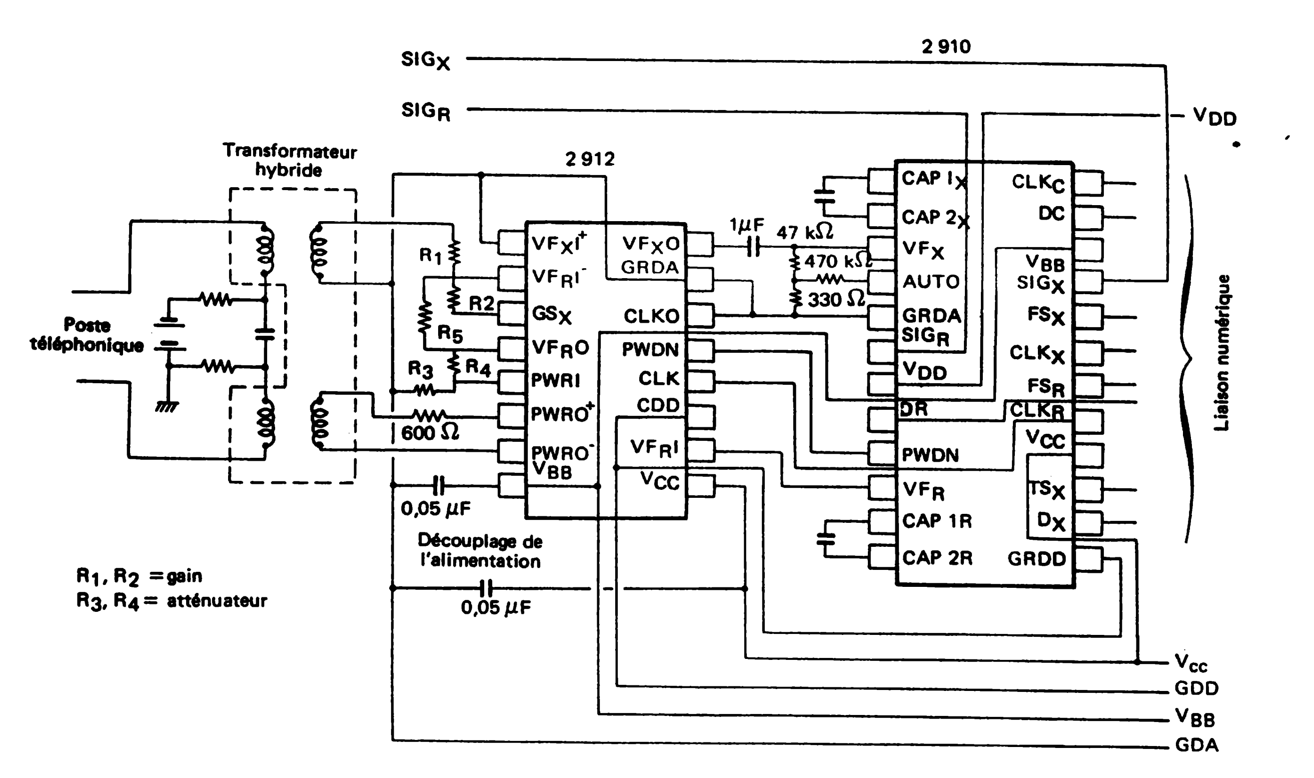


Fig. 14. — Le 2911 monté ici avec les filtres intégrés dans le circuit 2912.

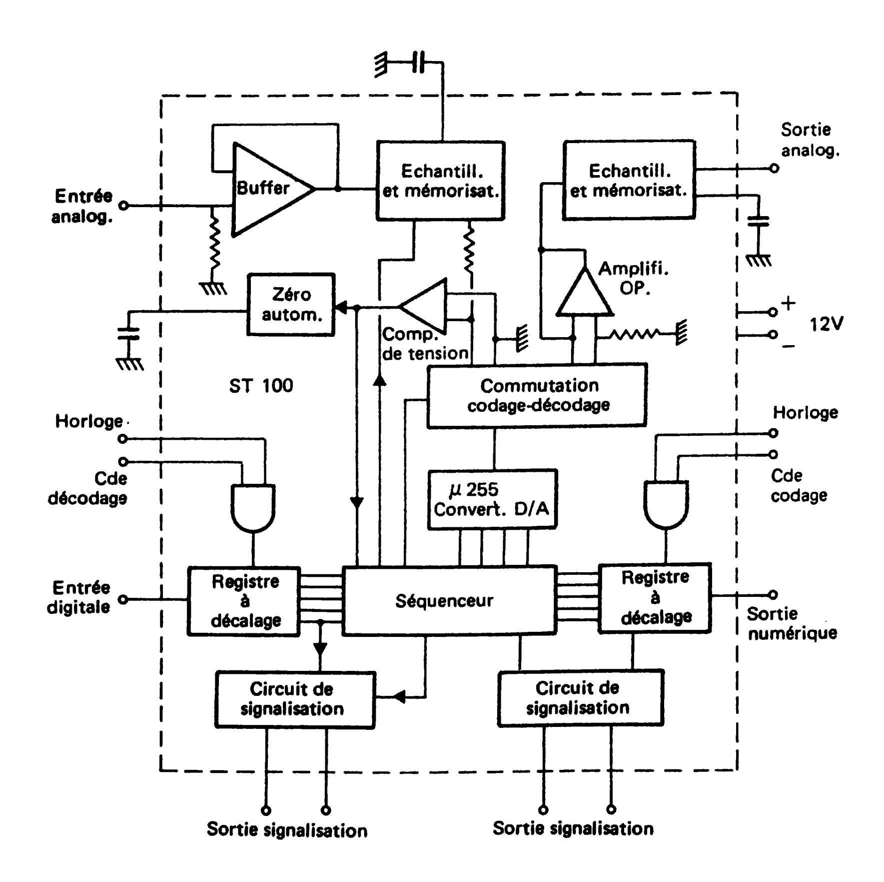


Fig. 15. — Synoptique du ST 100 de Signetics, réalisé en technologie 121.

torola a intégré des filtres (circuit MC 14413) et même l'équivalent du transformateur hybride en un circuit « SLIC » (« *Subscriber Line Interface Circuit* » circuit d'interface pour ligne d'abonné), une voie d'abonné devient semblable à ce que montre la figure 18 dans son principe, fig. 19 dans sa réalisation.

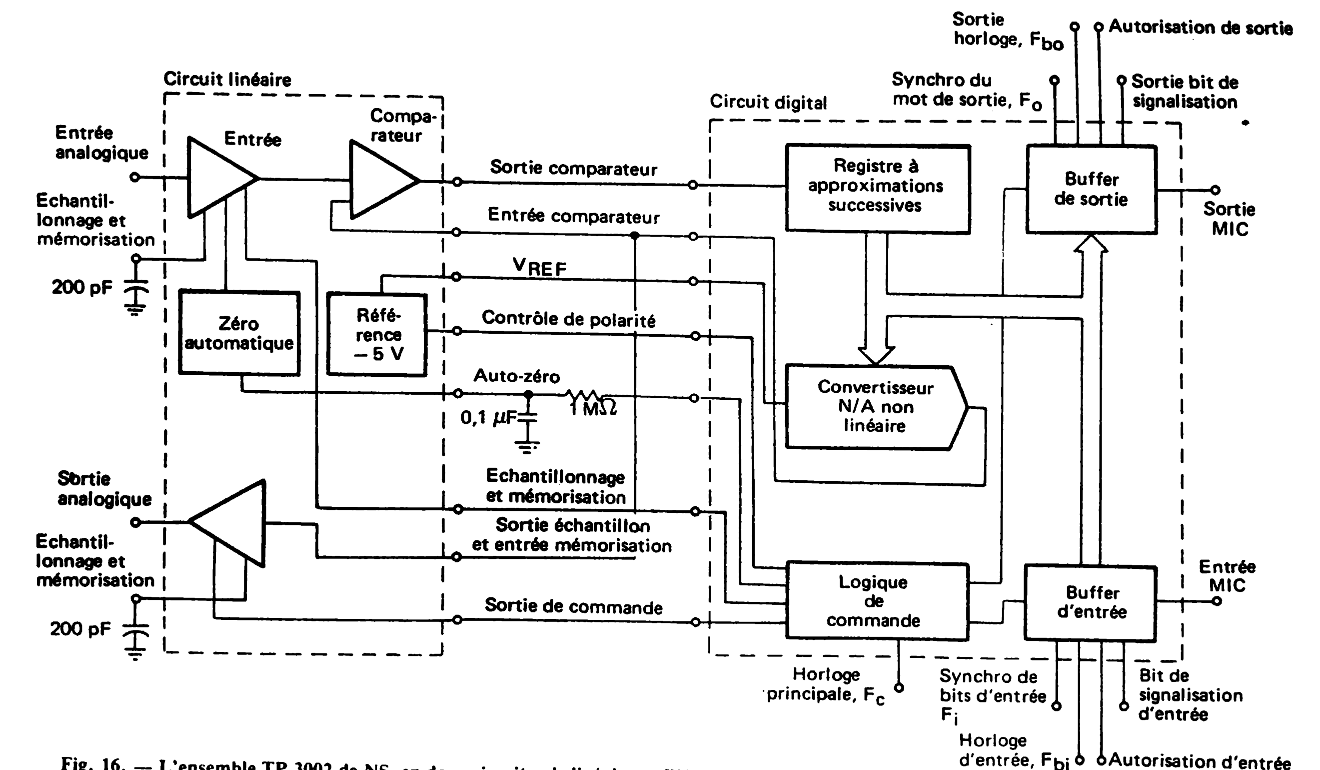


Fig. 16. — L'ensemble TP 3002 de NS, en deux circuits : le linéaire en Bifet (LF 3700) et le numérique en CMOS (MM 58150).

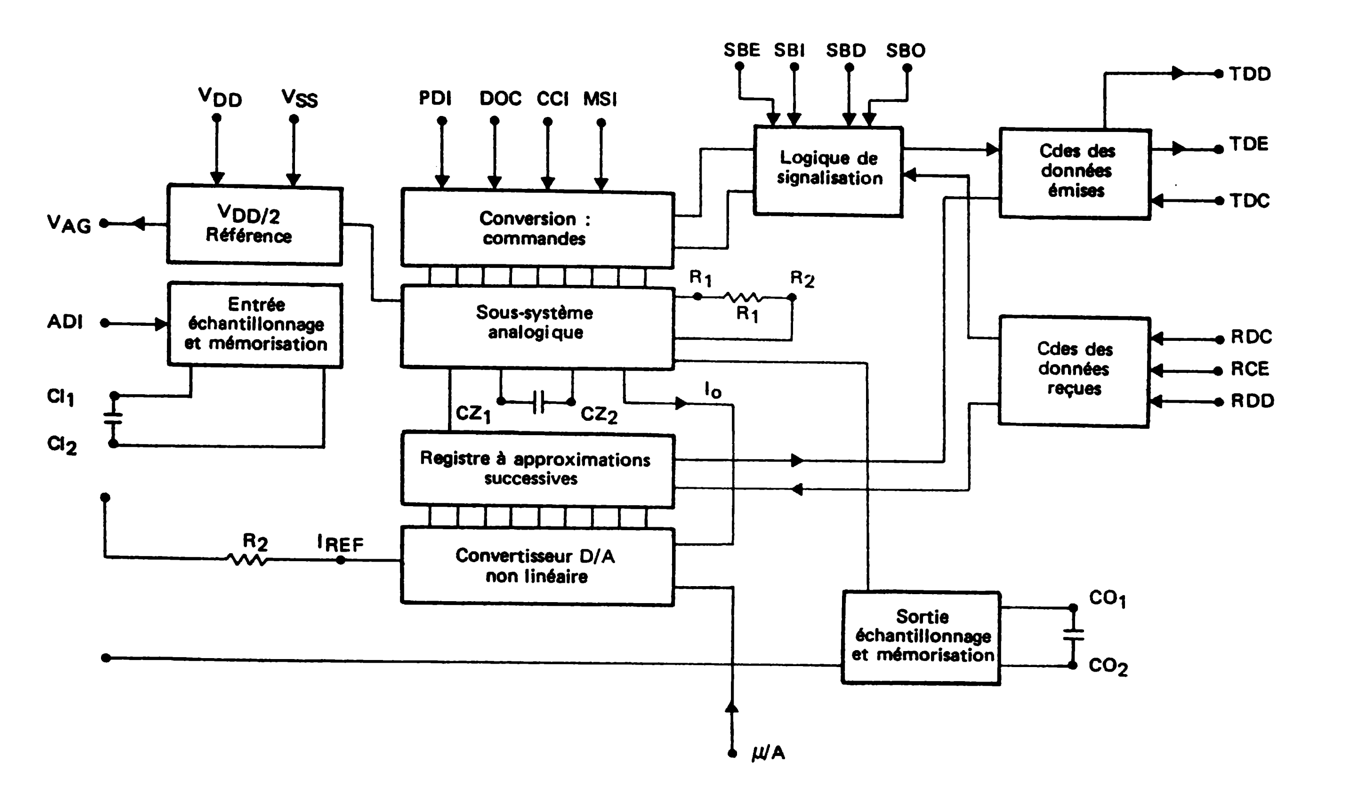


Fig. 17. — Synoptique du MC 14406/7 de Motorola, en MOS complémentaires.

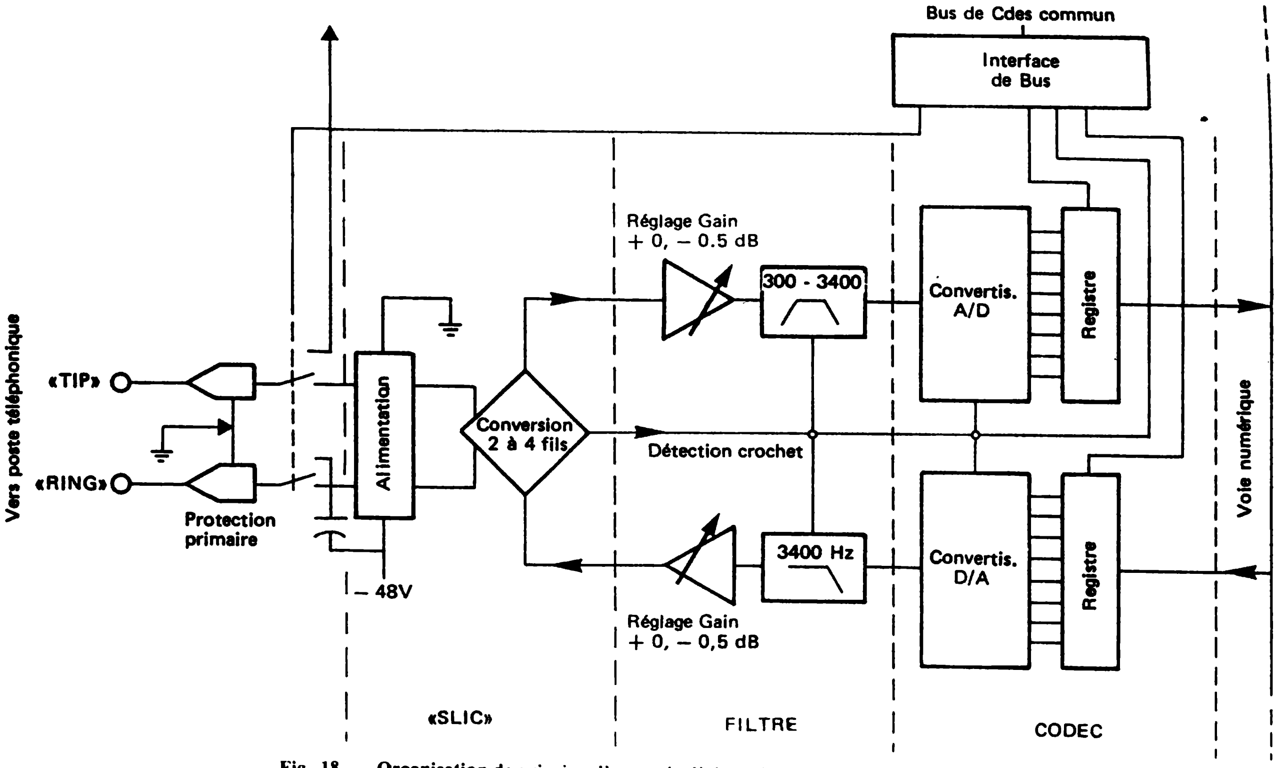


Fig. 18. — Organisation de principe d'une voie d'abonné avec trois circuits intégrés de base, selon Motorola : le SLIC, les filtres et le codec.

Société	Référence	Nombre de circuits	Monovoie Multivoie	Compression-exp.		Technologie
				Loi A	Loi μ	
AMD		2	Mono	●	●	NMOS et Bipolaire
AMI	S2900 S2901 S2902 S2903 S2563T	1 1 1 1 1	Mono Mono Mono Mono Bi	● ● ●	 ● ● ●	CMOS CMOS CMOS CMOS CMOS
EFCIS	CDL400	1	Mono	●		CMOS/SOS
General Instrument (G)	AY3-9900	1	Mono	●	●	NMOS
Intel	2910 2911	1 1	Mono Mono	 ●	● 	NMOS NMOS
Mostek	MK5150 MK5116 MK5155	1 1 1	Mono Mono Mono	 ●	● ● 	CMOS CMOS CMOS
Motorola	MC14407 MC14406	1 1	Mono Mono	● ●	● ●	CMOS CMOS
National Semi-conductor	TP3001 TP3002	1 1	Mono Mono	 ●	● 	CMOS/BIFET CMOS/BIFET
PMI	DAC87 DAC86	– –	Multi Multi	 ●	 ●	Bipolaire Bipolaire
Siemens	SM 61A S 291	2	Mono	●		NMOS Bipolaire
Signetics/ RTC	ST100	1	Mono		●	I2L
Siliconix	DF331 DF332 DF334 DF341 DF342	1 1 1 1 1	Mono Mono Mono Mono Mono	 ● ●	● ● ● 	CMOS CMOS CMOS CMOS CMOS

Tableau I. — Quelques codecs présentés par les fabricants.

Société	Brochage	Consommation (mW) activité/veille	Tensions d'alimentation	Observations
AMD	24			Loi A ou μ programmable par broche
AMI	18 16 18 16 18	200/25 200/25 200/25 200/25	± 5 V ± 5 V ± 5 V ± 5 V ± 5 V	Codeur uniquement Décodeur uniquement Codeur uniquement Décodeur uniquement Annoncé en 1978
EFCIS	22	40	+ 5 V, ± 12 V	
General Instruments (GI)	24	300	+ 9 V, ± 5 V	Loi μ ou A sélectionnée par une broche
Intel	24 22	220/110 220/110	+ 12 V, ± 5 V	
Mostek	24 16 16	30 30 30	± 5 V ± 5 V ± 5 V	
Motorola	28 24	80/0,5 80/0,5	10, – 16 V 10, – 16 V	Loi A ou μ sélectionnée par broche
National Semi-conducteur	22/20 28/20			Système en 2 circuits
PMI	16 16	140 140	± 10 à 15 V ± 10 à 15 V	Convertisseurs D/A rapide uniquement associés à d'autres circuits.
Siemens	28 24			
Signetics/ RTC	24	375/50	± 12, + 5 V	
Siliconix	14 14 14 14 14	45 45 45 45 45	± 7,5 V ± 7,5 V ± 7,5 V ± 7,5 V ± 7,5 V	Codeur Décodeur Décodeur Codeur Décodeur

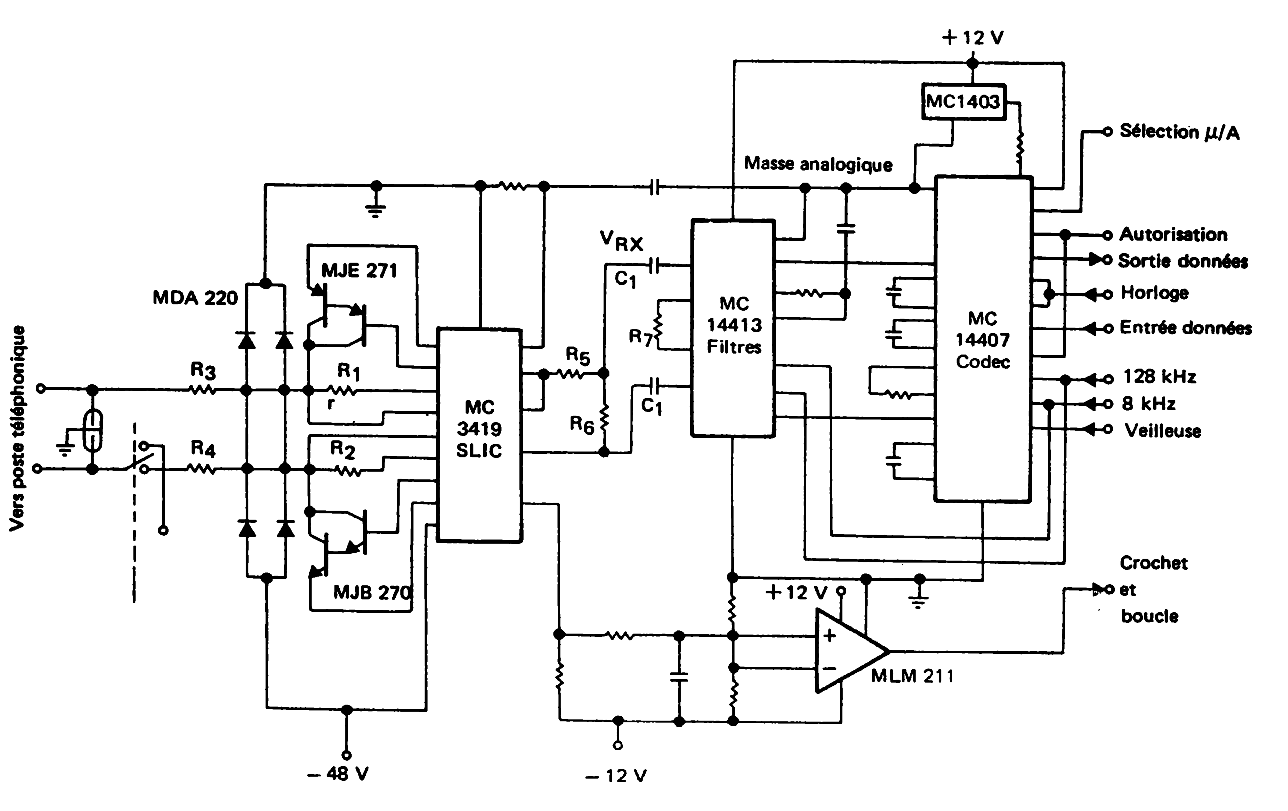


Fig. 19. — Traduction pratique du montage de la figure précédente.

Des circuits encore plus élaborés ont pu être réalisés par la suite, dès le début des années 80, regroupant sur la même puce codec et filtres sous le nom de COFIDEC, par exemple. Parmi ceux-ci, on peut citer :

COFIDEC

- Le Am 7901 de *AMD.*
- Les 3506/3507 de *AMI.*
- Les HD 44210/44212 de *Hitachi.*
- Les 2913/2914 *Intel* (et *Texas*).
- Les 8960/8961 *Mitel.*
- Le MK 5316 *Mostek* (et *Motorola*).
- Les MC 1440/1/2/3 de *Motorola* (et *Mostek*).
- Les TP 3051/3056 parallèle et TP 3057/3052 (série) de *National Semiconductor* (ainsi que *Harris, Efcis, Eurotechnique*).

Ces quatre dernières sociétés sont même arrivées à un accord de normalisation sur les boîtiers (fig. 20).

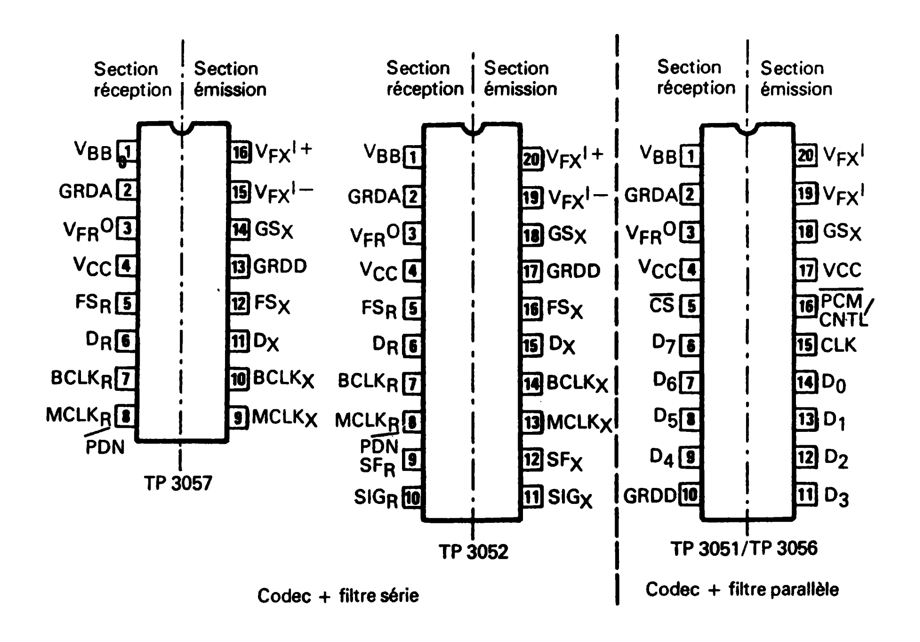


Fig. 20. — Les brochages normalisés des codecs avec filtres, ou Cofidecs, avec références Eurotechnique.

6. EXEMPLE D'APPLICATION AUX TÉLÉCONFÉRENCES

Les téléconférences visent à remplacer les voyages et déplacements par des moyens de télécommunications. Elles peuvent être classées en :

- *Systèmes sur réseaux à faible largeur de bande,* tels qu'*audioconférences ;*
- Systèmes à large bande passante : les vidéoconférences, où l'image accompagne le son.

En France, ce dernier système a reçu le nom de *visioconférence.* Les conférenciers sont réunis dans des salles locales spéciales, reliées par un canal bilatéral à 2,048 mégabits/s. Les signaux visiophoniques ont une largeur de bande d'environ 1 MHz. La voie numérique à 2,048 Mbits/s correspond à la normalisation dite TN 1 (« transmission numérique 1 ») et le synoptique de la liaison, qui fait intervenir de part et d'autre des codecs, est donné figure 21.

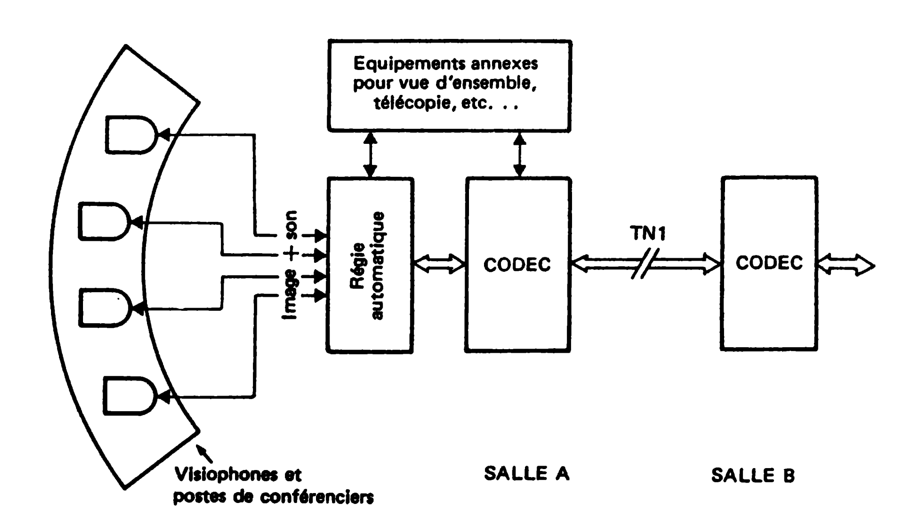


Fig. 21. — Principe d'une liaison de visioconférence.

CHAPITRE XV

RÉSEAUX INFORMATIQUES

Un réseau informatique est un ensemble d'ordinateurs et de terminaux interconnectés. Il fait intervenir des matériels, des règles de gestion et des logiciels spécifiques. On va en examiner ici les grands traits caractéristiques et on donnera en exemple quelques architectures-types de réseaux : SNA et DSA. Dans les chapitres suivants, on traitera de façon plus détaillée des « protocoles » puis de Transpac, réseau de transmission des données par commutation de paquets et enfin, des réseaux « locaux ».

1. ORGANISATION

Longtemps, on a confié à un ordinateur central toutes les tâches de gestion de ses terminaux. Dénués d'intelligence, ceux-ci pouvaient être répartis en de multiples points géographiques. Ça a été la période *centralisatrice*, celle-ci imposant des prix élevés et des contraintes sévères.

Puis, on a imaginé une distribution des fonctions primitivement assurées par l'*Ordinateur* en plusieurs unités distinctes, celles-ci étant d'ailleurs des processeurs spécialisés et donc programmés. Les performances se sont accrues et l'informatique s'est adaptée aux besoins des utilisateurs. L'architecture des systèmes télé-informatiques a ainsi pu être classée en quatre étapes :

1 — L'ordinateur est connecté directement aux terminaux et exécute tous les traitements (fig. 1).

CONCENTRATEURS 2 — Parce que le nombre des terminaux augmente, on introduit des *concentrateurs*. Le concentrateur est par lui-même un petit ordinateur spécialisé qui gère les transmissions et les terminaux, exécute des prétraitements, stocke des informations, gère les sauvegardes et les reprises, etc. (fig. 2). Il décharge ainsi l'ordinateur central de ces tâches, antérieurement câblées ou programmées.

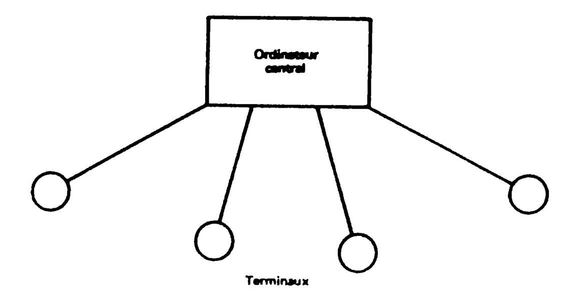


Fig. 1. — L'ordinateur est, ici, connecté directement aux terminaux.

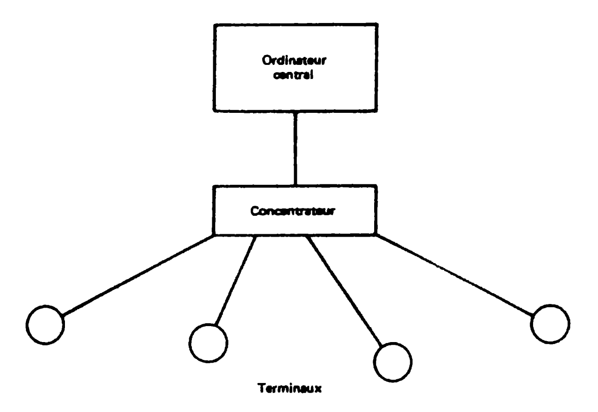


Fig. 2. — Un concentrateur intervient entre les terminaux et l'ordinateur.

MULTIPLEXEURS

Une variante des concentrateurs est constituée par les *multiplexeurs* qui, à l'origine du moins, étaient également des équipements de concentration mais dénués d'intelligence, en logique câblée.

De toutes façons, c'est encore à l'ordinateur qu'on demande de gérer les communications avec les terminaux (cas 1) ou avec le concentrateur (cas 2), ou les concentrateurs s'il y a lieu. Pour cela, il dispose généralement d'un *contrôleur de communications* câblé. L'étape suivante s'annonce ainsi d'elle-même.

CONTRÔLEUR DE COMMUNICATIONS

CANAL

FRONTAL

3 — Le *contrôleur de communications* devient une unité intelligente, mini ou micro-ordinateur, donc programmée, et est relié à l'ordinateur par une voie rapide appelée *canal.* Il prend le nom de *frontal*

(fig. 3). Le frontal est relié au concentrateur puis aux terminaux via des lignes de divers types ; programmé, il gère l'ensemble du réseau, préside aux échanges, traite les incidents de liaison, etc.

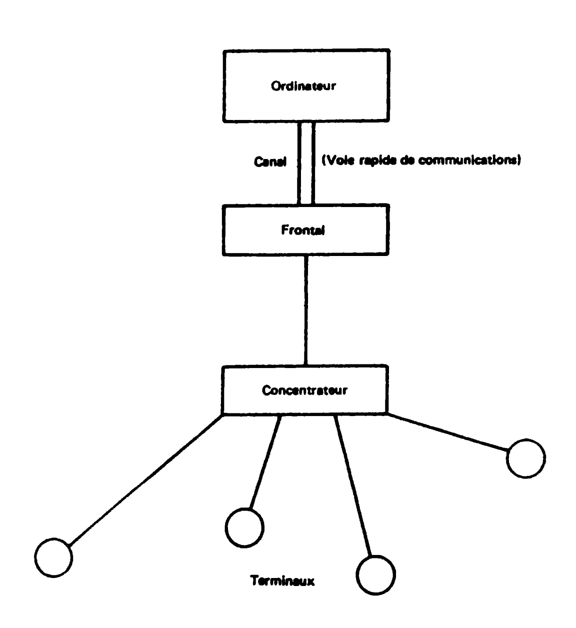


Fig. 3. — Maintenant, un frontal décharge l'ordinateur des fonctions de gestion du réseau.

MAILLAGE

4 — Alors que dans ces trois cas, l'organisation est *en étoile* autour de l'ordinateur central, elle est *maillée* dans le quatrième et dernier cas. Cela signifie que les voies de liaison sont multiples et qu'un terminal peut accéder à l'ordinateur par divers chemins, ce qui offre une sécurité de fonctionnement considérable, entre autres.

La figure 4 résume cette « explosion » de l'ordinateur central. Les « ressources » (terminaux...) qui, autrefois, étaient attribuées rigidement à un programme peuvent maintenant être partagées ; les lignes téléphoniques sont banalisées ; le logiciel est distribué aux divers niveaux : chaque terminal dispose de son logiciel propre, le réseau ayant lui aussi le sien.

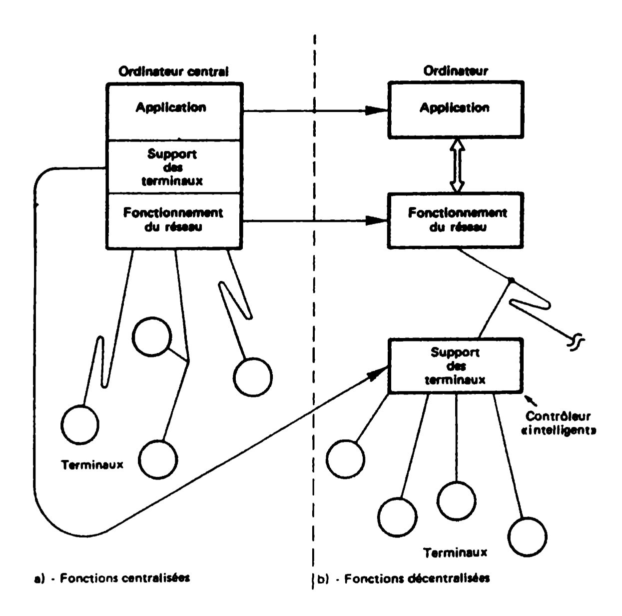


Fig. 4. — La différence entre fonctions centralisées et décentralisées, avec « l'éclatement » de l'ordinateur.

De nombreux types de réseaux ont été proposés et/ou réalisés. Parmi ceux-ci, on peut citer le SNA d'*IBM*, DECNET de *Digital Equipment*, DSA de *CII-HB*, Transpac... qui seront présentés soit dans ce chapitre, soit dans des chapitres ultérieurs spécialisés.

2. MULTIPLEXEURS ET CONCENTRATEURS

Parce que leurs fonctions peuvent être très proches, arrêtons-nous un instant sur le rôle des multiplexeurs et des concentrateurs et sur leurs différences.

Ces deux types de matériels regroupent sur leur circuit unique les informations provenant de multiples lignes, afin de les transmettre, par exemple, à un ordinateur. La figure 5 illustre ce principe. Si les lignes d'entrées reliant des terminaux à un multiplexeur ou à un concentrateur sont à faible débit et si la ligne centrale est, elle, à fort débit, cette dernière pourra transmettre simultanément toutes les informations multiplexées. Par exemple, une ligne centrale à 4 800 bauds pourra transmettre les informations multiplexées de plusieurs dizaines de lignes basse vitesse à 200 bauds.

LA JUNGLE TERMINOLOGIQUE DES TÉLÉ-IMPRIMEURS

Les *télé-imprimeurs,* ou *télé-imprimantes,* sont parmi les terminaux les plus usuels. Ils sont souvent présentés via leurs sigles américains qui sont :

1. *TD, pour « transmitter-distributor ».* C'est le terminal qui lit et transmet des informations à partir d'une bande perforée.

2. *ROTR, pour « receive-only typing reperforator ».* Il reçoit les signaux et perfore une bande, imprimant les caractères soit en marge soit au-dessus de la perforation pour des bandes spéciales (où subsiste un film de papier non perforé).

3. *RT, pour « reperforator-transmitter ».* C'est la combinaison des deux précédents, d'un TD et d'un ROTR.

4. *RO, pour « receive-only page printer ».* Il reçoit le signal et l'imprime sur une page. Il n'a pas de clavier mais dispose de touches pour le positionnement de la page.

5. *KSR, pour « keyboard sending and receiving unit ».* Il reçoit le signal et l'imprime comme le fait un « RO », mais dispose en plus d'un clavier pour l'émission des données.

6. *KTR, pour « keyboard typing reperforator ».* Il reçoit le signal, perfore et imprime une bande de papier comme le fait le « ROTR » mais de plus, le clavier peut transmettre des informations, commander une perforation et l'impression d'une bande simultanément. Il ne dispose pas de lecteur de bande et d'imprimante de page.

7. *ASR, pour « automatic sending and receiving unit ».* C'est le plus complet des télé-imprimeurs puisqu'il combine les possibilités de tous les précédents en un seul appareil. Il dispose d'un clavier, d'une imprimante de pages, d'un lecteur-perforateur de bandes.

Rappelons que « Teletype », en abrégé TTY, est une marque déposée de télé-imprimeurs.

DÉMULTIPLEXEUR, DIFFUSEUR Si nécessaire, un équipement symétrique appelé *démultiplexeur* ou *diffuseur* peut, à la réception, redistribuer les informations transmises (fig. 6).

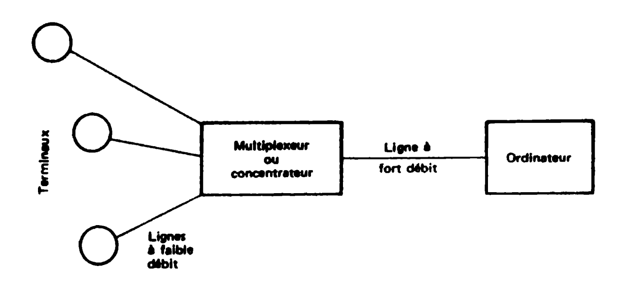


Fig. 5. — Intervention des lignes à faible ou fort débit, avant et après le concentrateur.

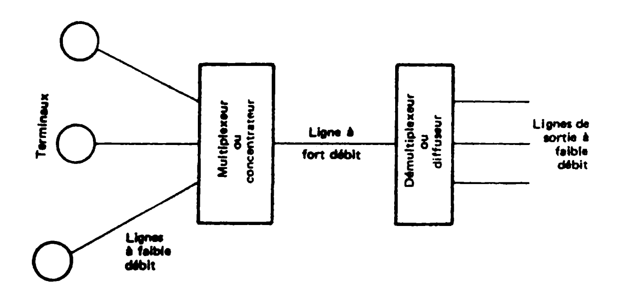


Fig. 6. — Eventuellement, un démultiplexeur ou un diffuseur, en bout de ligne, exécute la fonction inverse du multiplexeur ou du concentrateur.

CONCENTRATEURS OU MULTIPLEXEURS ? La différence entre multiplexeurs et concentrateurs est la suivante. Pendant longtemps, on a considéré que *les concentrateurs* étaient dotés « d'intelligence », c'est-à-dire qu'ils étaient réalisés avec un mini ou un micro-ordinateur programmable, et par conséquent capables d'exécuter des traitements même complexes sur les données à transmettre (suppression des temps morts, transcodages, conversions de vitesses, surveillance des erreurs...). En revanche, *les multiplexeurs* étaient des systèmes en logique câblée, n'intervenant pas sur le signal et apparaissant par conséquent comme « transparent » pour celui-ci. Avec le développement de l'informatique et en particulier des microprocesseurs, cette distinction a tendance à s'estomper puisqu'on trouve actuellement des *multiplexeurs à microprocesseurs,* programmés par conséquent.

2.1. Multiplexeurs asynchrones avec modems

De nombreux terminaux procèdent en mode asynchrone, à diverses vitesses. Par exemple :

- Un télé-imprimeur travaille à 50 bits/s, 75 bits/s ou 110 bits/s...
- L'IBM 2741 travaille à 134,5 bits/s.
- Un modem servant de référence, le 103 A de Bell, fonctionne à 300 bits/s.
- Les recommandations V-23 du CCITT traitent de modems asynchrones 600 et 1 200 bits/s. Ces mêmes vitesses pourront convenir à des terminaux à écran ou des imprimantes. Etc.

De ce fait, le multiplexeur pourra disposer d'un registre de commande dans lequel un mot approprié spécifiera les caractéristiques variables de la liaison, vitesse, format, mode (semi-duplex...). Doté d'intelligence, ou concentrateur, il pourra travailler en *accès direct à la mémoire* avec l'ordinateur. Dans ce cas, il devra disposer d'autres registres spécialisés.

3. NORMES D'INTERCONNEXION POUR SYSTÈMES OUVERTS (OSI)

Afin d'interconnecter des systèmes entre eux, on recourt à des procédures normalisées permettant l'échange d'informations entre terminaux, ordinateurs, personnes, réseaux, processus, etc. Ces procédures étant communes, l'interconnexion est ouverte à tous les types d'échanges et de matériels et de ce fait, on traite de l'*interconnexion de systèmes ouverts,* OSI en abrégé. Les normes correspondantes ont été définies par l'AFNOR dans le document Z70-001 de juin 1982.

SYSTÈMES OUVERTS

PROTOCOLES

Les normes d'interconnexion de systèmes ouverts doivent définir toutes les règles d'interactions, appelées « protocoles », entre systèmes informatiques interconnectés. Cet ensemble de règles d'interactions, pris globalement, est très complexe et doit néanmoins pouvoir évoluer pour prendre en compte de nouvelles applications ainsi que des innovations techniques ou technologiques. On est donc amené à décomposer les interactions entre systèmes en sous-ensembles plus faciles à maîtriser. La technique de décomposition universellement utilisée pour les réseaux consiste à diviser conceptuellement l'ensemble des systèmes ouverts (et donc chacun de ces systèmes) en une succession de *couches fonctionnelles.* Chacune de ces couches s'appuie sur les fonctionnalités offertes par les couches inférieures ; on parle généralement d'une « architecture en couches ». (Cette technique de décomposition en couches fonctionnelles est très largement utilisée aussi en dehors des réseaux, et par exemple en programmation structurée).

Le modèle de référence pour l'interconnexion de systèmes ouverts définit ainsi une architecture à sept couches dont les fonctionnalités sont résumées dans la figure 7, avec les caractéristiques suivantes :

1 — *La couche physique* assure l'interface avec le « support physique pour l'interconnexion de systèmes ouverts » (exemple : ligne téléphonique). Elle assure les fonctions de commande des circuits de données comme l'établissement de circuits commutés, conformément aux protocoles de la couche physique.

2 — *La couche liaison de données* utilise les circuits de données fournis par la couche physique pour assurer la transmission sans erreurs de blocs de données sur des liaisons de données.

3 — *La couche réseau* assure, si besoin, la fonction d'acheminement permettant aux systèmes extrémité de communiquer au travers d'un réseau de systèmes intermédiaires.

4 — *La couche transport* assure les fonctions de contrôle du transport de bout en bout au travers du service offert par la couche réseau. Elle optimise l'utilisation des services de réseau pour obtenir au meilleur coût les performances requises par la couche session.

5 — *La couche session* assure les fonctions d'établissement et de contrôle des dialogues (initialisation, synchronisation, fin, etc...) entre entités de la couche présentation.

6 — *La couche présentation* assure les fonctions de manipulation des structures de données, telles que mises au format, vérification de structure, etc...

7 — *La couche application* est la couche la plus haute dans l'architecture. Elle correspond aux fonctions remplies par les applications réparties proprement dites, et comprend donc les programmes d'application, les dispositifs physiques et les opérateurs humains qui participent aux applications ou les utilisent. Les six couches inférieures ont pour seule raison d'être de supporter le fonctionnement de la couche application. Cette dernière assure également les fonctions de gestion de réseau qui sont considérées comme des applications particulières.

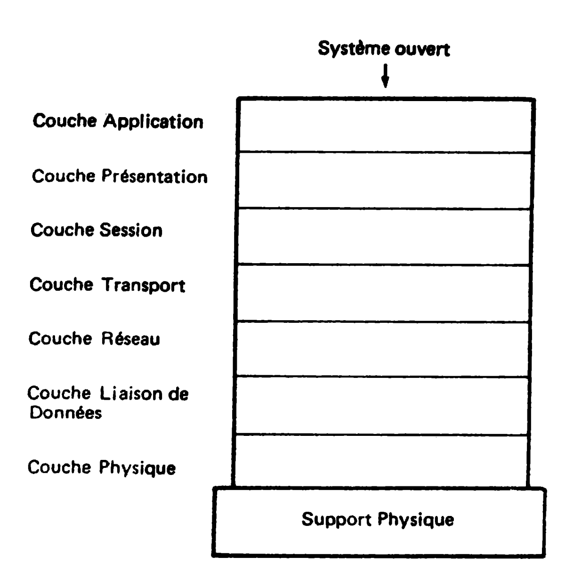


Fig. 7. — Les couches pour interconnexions de systèmes ouverts, définies par l'AFNOR.

Il est alors possible d'étudier individuellement le fonctionnement de chacune des couches pour remplir les fonctionnalités qui lui ont été attribuées et de spécifier le ou les protocoles correspondants au sein de la couche. Le fonctionnement d'une couche repose, bien sûr, sur les services offerts par l'ensemble des couches inférieures. Les interactions au sein d'une couche reposent donc sur les interactions au sein des couches inférieures. *On dit ainsi que le protocole d'une couche repose sur les protocoles des couches inférieures,* on parle aussi de *hiérarchie de protocoles.*

La figure 8 montre ce même schéma à 7 couches, avec l'intervention des protocoles entre homologues. A nouveau apparaît ce sigle OSI, de l'expression anglaise *"Open Systems Interconnection"*, qui a été conservé en français pour *Interconnexion de Systèmes Ouverts ;* cette dernière aurait, en effet, mené au sigle ISO, déjà pris pour l'*Organisation Internationale de Normalisation...*

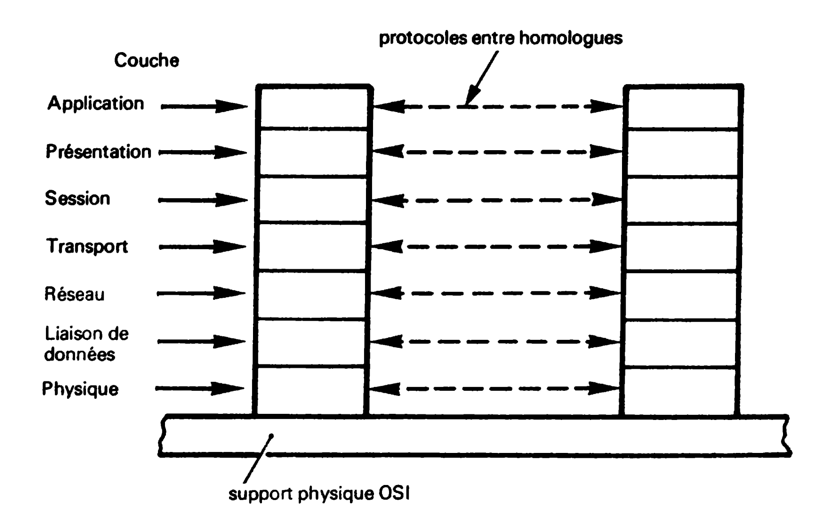


Fig. 8. — Modèle de référence à sept couches et protocoles entre homologues.

On retrouve, dans ce modèle de référence, les 7 couches :

a) la Couche Application (couche 7) ;
b) la Couche Présentation (couche 6) ;
c) la Couche Session (couche 5) ;
d) la Couche Transport (couche 4) ;
e) la Couche Réseau (couche 3) ;
f) la Couche Liaison de Données (couche 2) ;
g) la Couche Physique (couche 1).

4. LE SNA D'IBM

SNA Etudié dès avant les années 70, le SNA d'*IBM* a été annoncé fin 1974. SNA provient de « *Systems Network Architecture* » et se traduit par *Architecture de réseau des systèmes IBM*. Il consiste en un système de conventions internes à la firme, publiées en particulier dans une brochure « *Format and Protocols* » auxquelles se plient les produits matériels et logiciels.

Une configuration type est indiquée figure 9. On y trouve, au sommet, deux ordinateurs de la série 370 avec des programmes différents. Ils sont reliés via

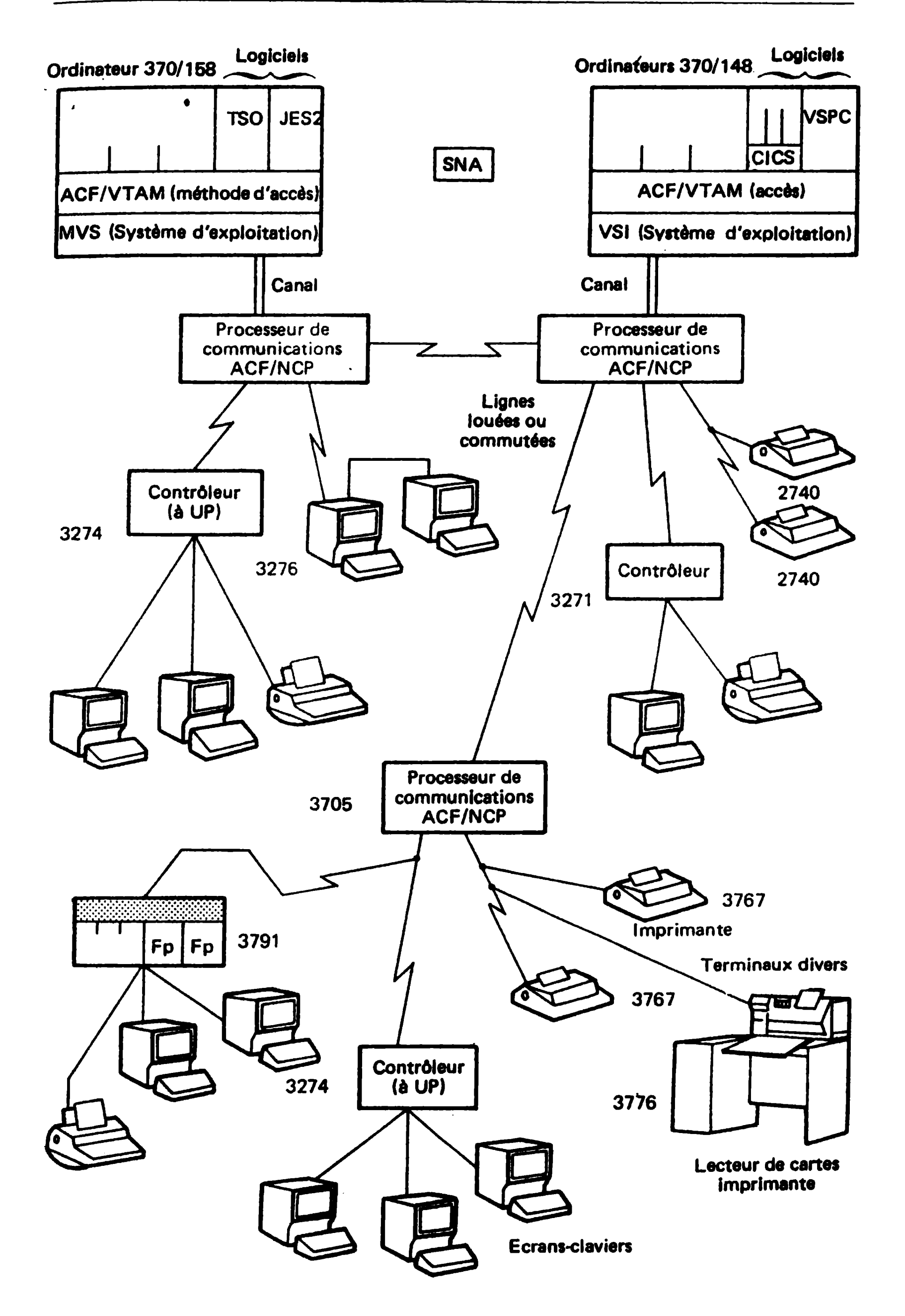


Fig. 9. — **Architecture du réseau SNA de IBM.**

des processus de communication ou des contrôleurs aux terminaux à l'aide de lignes louées ou commutées. Celles-ci ne sont donc plus spécialisées et servent à toutes les liaisons ; chaque terminal peut fonctionner avec *n'importe quel programme de n'importe quel ordinateur*. Chaque unité du réseau est dotée d'intelligence et comporte un mini ou un micro-ordinateur.

Le réseau SNA a, en outre, été conçu pour procéder à une analyse systématique des défaillances et des erreurs par leur détection, leur différenciation et leur traitement.

Pour se connecter à SNA, ce qui est possible à tout type de matériel, il suffit de rédiger le logiciel correspondant. SNA peut, à son tour, se brancher sur Transpac (réseau de transmission de données des *PTT* par commutation de messages) via un *transformateur de protocoles* qui associe du matériel et du logiciel.

Pour approfondir ces questions, on pourra se reporter à de nombreux documents édités par *IBM*, et pour le plus récent, à la référence [12] dans laquelle sont traités et comparés divers réseaux.

5. LE DSA DE CII-HB

DSA DSA, pour « *Distributed Systems Architecture* », a été créé par *CII-Honeywell Bull* en résultat d'études menées à la fois par les équipes de cette firme (CII-HB), et celles de *Honeywell Informatique et Systèmes* (HIS) en liaison étroite avec les *P&T*. DSA répond essentiellement à deux grandes préoccupations des utilisateurs :

- Pouvoir accéder aux ressources d'un ordinateur à l'aide d'un terminal quelconque, sans être gêné par les particularités de l'application ou du terminal, par la distance ou le type de réseau utilisé.

- Pouvoir, dans certains cas, amener des centres de traitement distincts à mettre en commun leurs ressources, en faisant coopérer les applications, malgré les contraintes apportées parfois par la distance ou la diversité des ordinateurs et des systèmes d'exploitation.

Outre la prise en compte de ces deux objectifs. DSA permet de bénéficier des nouveaux réseaux publics de communications, tels que TRANSPAC en France, ou NPDN dans les pays nordiques.

La tendance actuelle consiste à distinguer quatre classes de produits en ce qui concerne l'accès aux réseaux : les hôtes, les frontaux, les satellites et les terminaux (fig. 10).

— Un *hôte* est un ordinateur capable de fournir sur un réseau des applications générales, telles que : temps partagé, traitement par lot ou gestion de transaction.

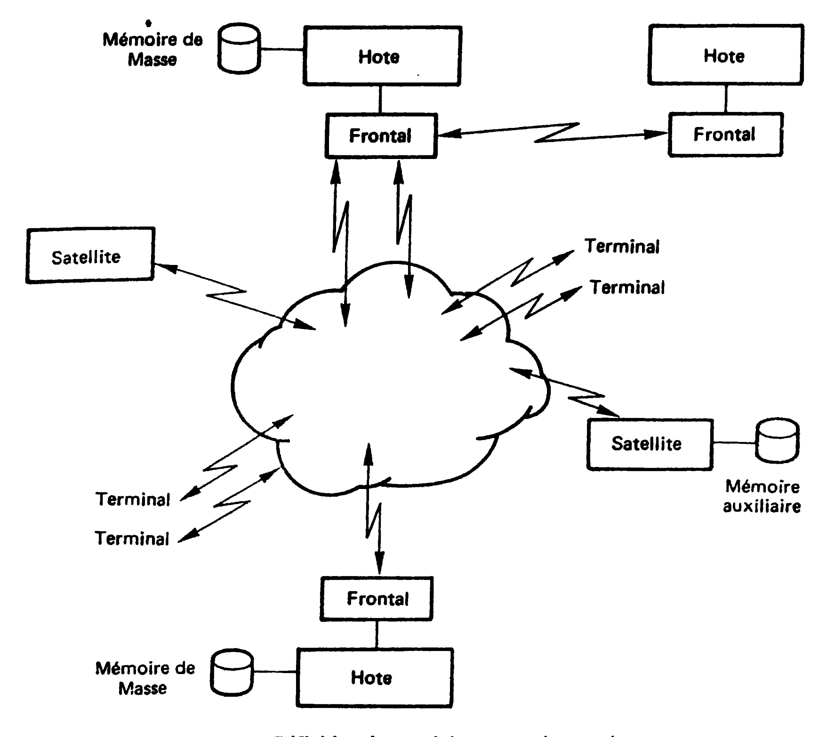


Fig. 10. — Définition des produits connectés aux réseaux.

— Un *frontal,* est un mini-ordinateur chargé d'assurer l'interface entre un hôte et le réseau. Plus le réseau est complexe, plus il convient de débarrasser l'hôte et ses applications des contraintes liées au support de ce réseau.

— Un *satellite* est un ordinateur de taille plus réduite qu'un hôte, de sorte qu'il ne dispose pas de frontal et qu'il ne peut fournir des applications aussi riches que celles d'un hôte. Il est souvent utilisé pour répondre aux demandes d'un réseau régional et renvoyer vers un hôte les activités dont il ne peut se charger lui-même.

— Un *terminal* est un moyen d'accès au réseau pour des opérateurs humains. Un terminal se compose éventuellement de plusieurs appareils ou postes de travail.

Ces différentes classes de produits (hôtes, frontaux, satellites et terminaux) ne sont pas considérées comme « nœuds » de réseau. En réalité, les nœuds de

réseaux ne sont pas des utilisateurs. Chaque nœud de réseau est un point où plusieurs lignes distinctes du réseau sont reliées entre elles ; il dispose donc d'une intelligence pour acheminer les données d'un point de départ vers un point d'arrivée, et pour assurer les fonctions de maintenance. Les nouveaux réseaux de données tels que TRANSPAC fournissent de tels nœuds.

Dès lors, on peut définir les éléments de base de l'architecture DSA ; ils sont les suivants :

- réseau primaire, réseau secondaire ;
- les points d'accès ;
- les connexions logiques ;
- les sites ;
- les chemins ;
- les circuits.

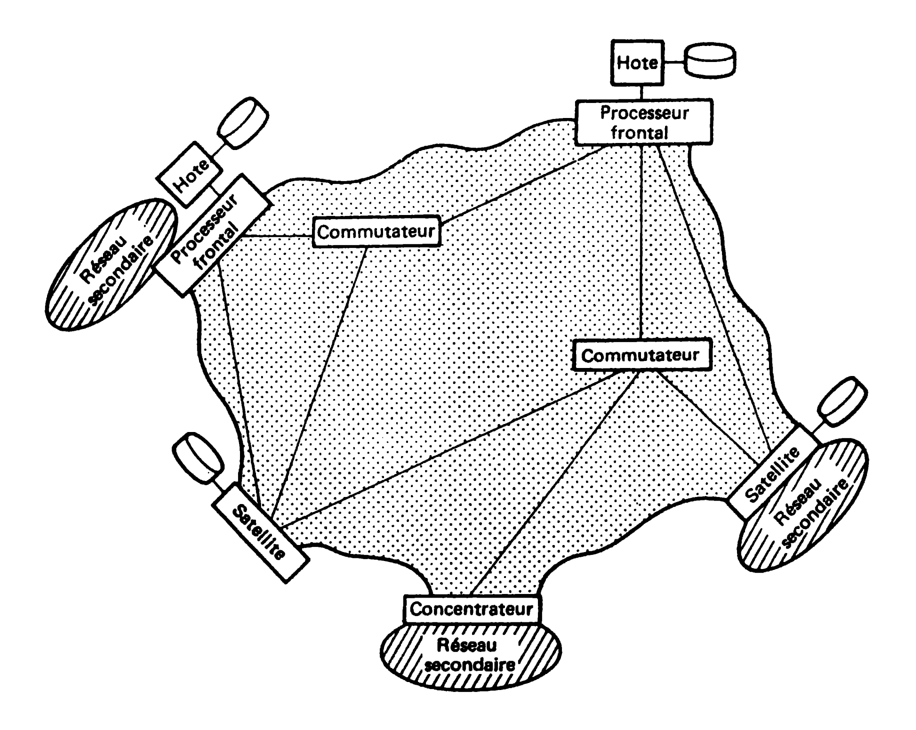


Fig. 11. — Les réseaux dits primaires et secondaires.

Un *réseau primaire* est constitué par un ensemble de sites interconnectés par des liaisons de transmission. Un *réseau secondaire* est constitué par l'ensemble des appareils et terminaux, relié à un site à travers des liaisons transmission, et dont l'administration est contrôlée par ce site. Un *point d'accès* est la frontière entre l'activité et le réseau ; il est défini par un nom unique, ce qui permet aux activités de s'identifier et de communiquer ; un programme, un appareil, un terminal sont en général des points d'accès. Une *connexion logique* permet l'échange d'informations entre deux points d'accès ; la connexion logique est la base à partir de laquelle il est possible d'exercer l'ensemble des contrôles relatifs soit à la sécurité, soit à la comptabilité du service fourni à l'utilisateur.

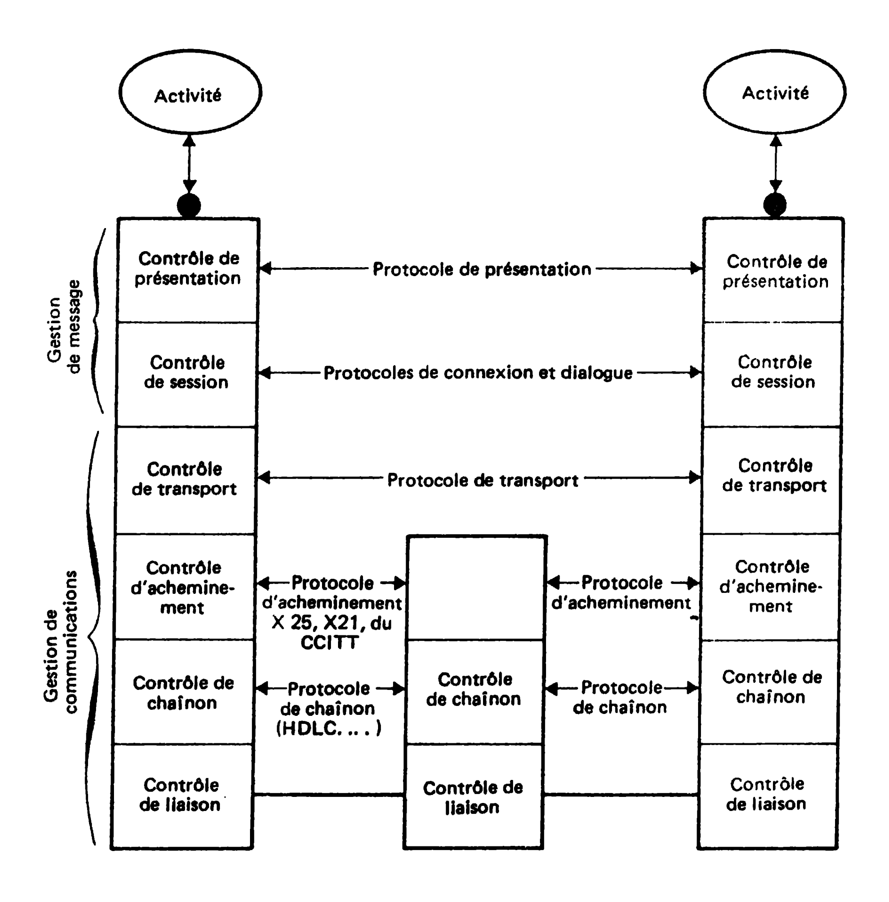


Fig. 12. — Organisation en couches hiérarchisées de DSA et protocoles utilisés.

Un *site* est le point d'ancrage sur le réseau des processus localisés dans une même zone géographique, et utilisant les mêmes ressources ; un hôte, un frontal, un satellite sont en général des sites, car ils permettent à des activités d'accéder à l'ensemble du réseau. Un *chemin* est un moyen de relier deux sites sur un réseau. Un *circuit* est une liaison physique permettant de relier deux équipements sur un réseau.

Sur les réseaux de haut niveau comme TRANSPAC, les liaisons entre abonnés peuvent être amenées à franchir des nœuds de réseau, ou à partager les mêmes circuits. On les appelle *circuits virtuels.* A un instant donné, plusieurs connexions logiques peuvent partager le même circuit virtuel.

Pour prendre en compte les réseaux d'ordinateurs, l'administration de réseau doit être réalisée à deux niveaux : au niveau de chaque nœud et au niveau global du réseau.

Couches hiérarchisées et protocoles

La caractéristique fondamentale de l'architecture DSA, est d'avoir comme structure celle d'un ensemble de couches hiérarchisées, correspondant au modèle recommandé par l'ISO *(International Standard Organisation).* Cette situation assure aux utilisateurs une grande sécurité en ce qui concerne la

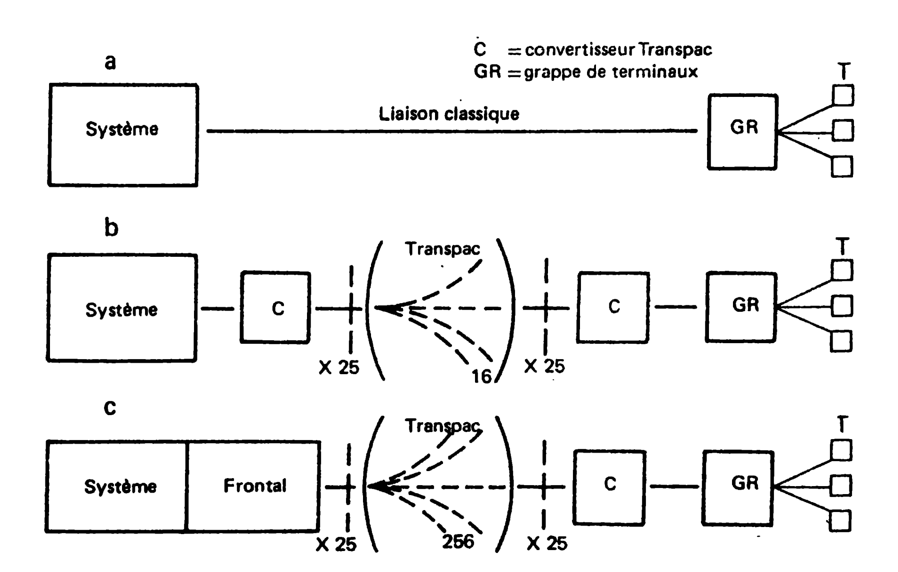


Fig. 13. — Exemples de réseaux DSA : simple (a), via Transpac *(b)*, grâce aux protocoles X25 (c).

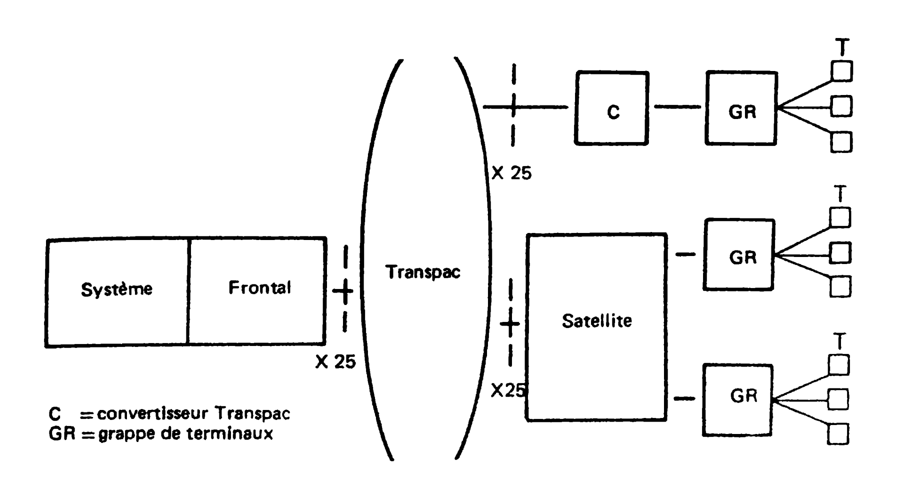


Fig. 14. — Autre exemple de DSA en étoile.

liberté du choix des éléments de leur réseau. C'est en ce sens que l'architecture est dite « ouverte ». Certaines couches sont optionnelles et, lorsqu'une couche est utilisée, il est possible de choisir entre différents protocoles pour s'adapter au service requis.

Une couche se définit comme *étant un groupe de fonctions cohérentes* (ex. : contrôle de transport, contrôle d'acheminement des messages, etc.) *contribuant à l'échange d'information entre points d'accès.* Les protocoles DSA portent sur ces diverses couches, comme le suggère la figure 12.

Les applications de DSA concernent les configurations aussi bien réduites que très importantes. Les figures 13 et 14 en donnent des exemples avec le réseau Transpac. DSA s'applique également aux réseaux hiérarchisés et aux réseaux maillés.

CHAPITRE XVI

LES PROTOCOLES

Un protocole (ou « une procédure »), c'est le jeu des conventions formelles qui gouvernent les échanges entre deux dispositifs. On va examiner ici les caractéristiques générales des principaux protocoles tels que le Bisync, le HDLC, le DDCMP, etc.

1. RÔLE ET FONCTIONS

Chaque fois qu'un échange d'informations intervient, que ce soit par écrit, par téléphone, par télex..., on est amené à appliqué un certain nombre de règles ; celles-ci sont regroupées sous le nom de *protocole,* ou *procédure* dans le cas d'un échange télématique.

Quelles sont les fonctions d'une procédure ? Celle-ci doit gérer la liaison, résoudre les problèmes susceptibles de survenir, et tenir compte des caractéristiques du traitement de l'information et de ses contraintes.

De façon plus précise, le protocole :
1) *Définit la structure des trames* en précisant quels octets constituent des caractères et quels caractères forment les messages.
2) *Précise comment détecter et traiter les erreurs* (mais aussi les messages corrects), très généralement par retransmission du message erroné.
3) *Gère les séquences de commande* afin de compter les messages, les identifier, éviter les duplications et les pertes.
4) *Garantit la transparence* afin qu'il n'y ait pas de confusion entre des messages et des caractères de commande (de codes identiques).
5) *Indique comment se fait l'attribution des lignes* dans le cas de liaisons multipoints ou en semi-duplex (qui dialogue avec qui ?).
6) Et permet aussi de résoudre maints problèmes qui peuvent surgir : *conflits d'accès* (demandes simultanées), *émission lorsqu'il n'y a pas de données disponibles* (que faire ?), *perte de liaison* (procédure de reprise), *procédure de départ ;* etc. etc.

Une liaison passe ainsi par cinq phases définies par la procédure et qui sont : la phase *d'établissement de la liaison* (appel) ; *l'initialisation* (avec invitation à émettre ou recevoir dans une liaison multipoint ou en boucle, par exemple) ; *le transfert* de l'information, *la terminaison,* et *la libération de la liaison.*

D'autre part, on peut classer les protocoles en trois catégories :

A) — *Orientés caractères,* qui utilisent des caractères spéciaux par exemple, pour indiquer le début d'un message (« STX »), la fin d'un bloc de texte (« ETB ») et par conséquent l'arrivée du caractère de test d'erreur... Le protocole Bisync, ou *« Binary Synchronous Protocol »,* imaginé par *IBM,* en est l'exemple.

B) — *Orientés octets,* dans lesquels l'en-tête du message donne le nombre d'octets qui vont suivre dans le message (données). L'exemple en est le DDCMP *(« Digital Data Communication Message Protocol »)* de *Digital Equipments.*

C) — *Orientés bits* qui délimitent, cette fois, les bits constituant un message à l'aide d'indicateurs spéciaux. Il s'agira, par exemple, des SDLC *(« Synchronous Data Link Control »)* d'*IBM,* du HDLC *(« High Level Data Link Control »)* normalisé par l'*ISO* et intervenant dans la procédure X25 du *CCITT,* appliquée aujourd'hui au réseau Transpac par exemple.

Niveau	Fonction	Exemples
I	Liaison physique	Caractéristiques électriques : RS 232 C, RS 422, RS 423, CCITT V. 35 Fonctionnelles et mécaniques : RS 232 C, RS 449, CCITT X. 21
II	Contrôle de liaison	Orientés caractères : Bysinc, ANSI X3.28 Orientés octets : DDCMP Orientés bits : HDLC, ADCCP, SDLC...
III	Commande du cheminement	Commutation de paquets : X. 25 du CCITT Frontal : NCP d'IBM, NSP de DEC. . .
IV	Réseau d'application	SNA d'IBM, DSA de Cii-HB, Decnet de DEC .

Tableau I. — La hiérarchie des protocoles.

NIVEAUX Enfin, on pourra définir plusieurs *niveaux* indépendants, en principe, qui regroupés participent à un ensemble cohérent. Ils sont résumés dans le tableau I. Dans ce chapitre, on traiterai uniquement du niveau II, le I et le IV étant traités dans leurs chapitres respectifs.

En matière de références bibliographiques, on ne citera que les *Proceedings de l'IEEE* [réf. 13] dans lesquelles plusieurs centaines de références sont données en cascade. Ce numéro de novembre 1978 est, en fait, consacré à la commutation par paquets et aborde aussi, par conséquent, les problèmes liés aux réseaux.

2. LE BISYNC (BSC)

La procédure Bisync, ou BSC pour « *Binary Synchronous Communications Protocol* », soit *protocole de communications synchrones binaires,* a été introduite par *IBM* en 1967. Elle s'applique en point à point ou en multipoint mais uniquement à l'alternat (semi-duplex) et a largement été exploitée.

Les vitesses visées sont moyennes ou élevées, à partir de 600 bauds, ce qui justifie l'usage du mode synchrone. Le format type d'un message est indiqué figure 1. Deux *caractères de synchronisation* (« SYN ») précèdent une *en-tête* facultative, annoncée par le caractère SOH (pour « *Start Of Header* », début d'en-tête). Un caractère de *début de texte,* STX *(« Start of Text »),* ou par une fin de bloc, ETB *(« End of Transmission Block »)* que suit alors le caractère de *test d'erreur,* ou BCC *(« Block Check Character »).*

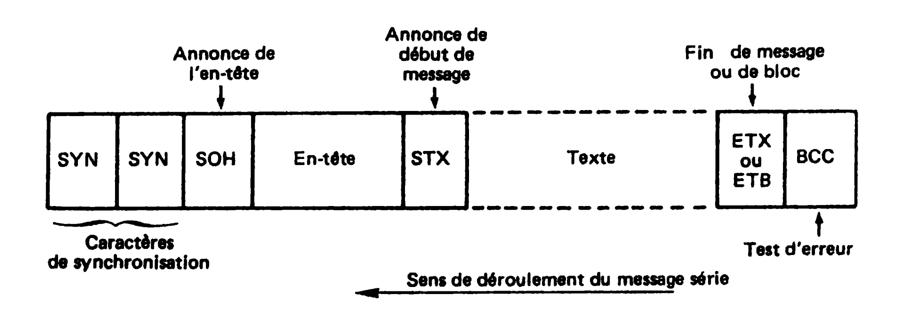


Fig. 1. — Format d'un message Bisync.

Le Bisync peut transmettre des caractères selon les codes ASCII, EBCDIC, et à 6 bits. Le contenu de l'en-tête est laissé à la discrétion de l'utilisateur.

Dans le cas ou un adressage ou une scrutation des voies (« polling ») sont nécessaires, par exemple dans des réseaux multipoints, un message séparé de commande est émis. La longueur du texte utile est variable et ce texte peut contenir des données *transparentes,* c'est-à-dire des combinaisons quelconques de bits qui ne pourront être confondues avec des caractères de commande. Pour cela, les « données transparentes » sont délimitées par les séquences :

• DLE STX, pour « Data Link Escape », « Start of Text » ; ici, DLE est un caractère dit d'*échappement* (« Escape »).
• DLE ETX, ou :
• DLE ETB, qui marquent la fin de « l'échappement » (ETX et ETB sont les *fins de texte* ou *fin de bloc*).

Pour éviter, en outre, que ces séquences ne soient reproduites fortuitement par des combinaisons binaires propres au texte, le caractère DLE est doublé lorsqu'il se trouve appartenir au texte. Ainsi, le message utile qui incorpore les combinaisons réservées aux séquences de délimitation :

M ETX DLE N STX

sera transmis, sans confusion possible :

DLE STX	M	ETX	DLE	DLE	N	STX	DLE ETX
Délimiteur de début de texte			Redondant, sera éliminé				Délimiteur de fin de texte

En BSC, les règles d'échanges sont rigoureuses. La figure 2 illustre l'une des procédures typique en liaison point à point, le tableau II résumant la liste des caractères spéciaux de commande avec leur signification, mais sans donner le détail de leur action. En voici quelques aspects complémentaires :

• ETB indique la fin d'un bloc de caractères, initialisé par SOH ou STX, et précède le bloc de test. Il exige une réponse du récepteur précisant ses états : ACK 0, ACK 1, NAK, WACK ou RVI.

• ITB sépare les messages en sections pour la détection d'erreurs et précède un bloc de test. Ce dernier est vérifié par le récepteur, il est remis à zéro, mais le récepteur ne répondra pas tant qu'il n'a pas reçu de ETB ou ETX. Ces blocs intermédiaires, précédés par DLE STX et terminés par DLE ETX ou ETB, servent à des transmissions de données transparentes.

• ETX, qui fonctionne comme ETB, indique qu'il n'y a plus de blocs de données à transmettre.

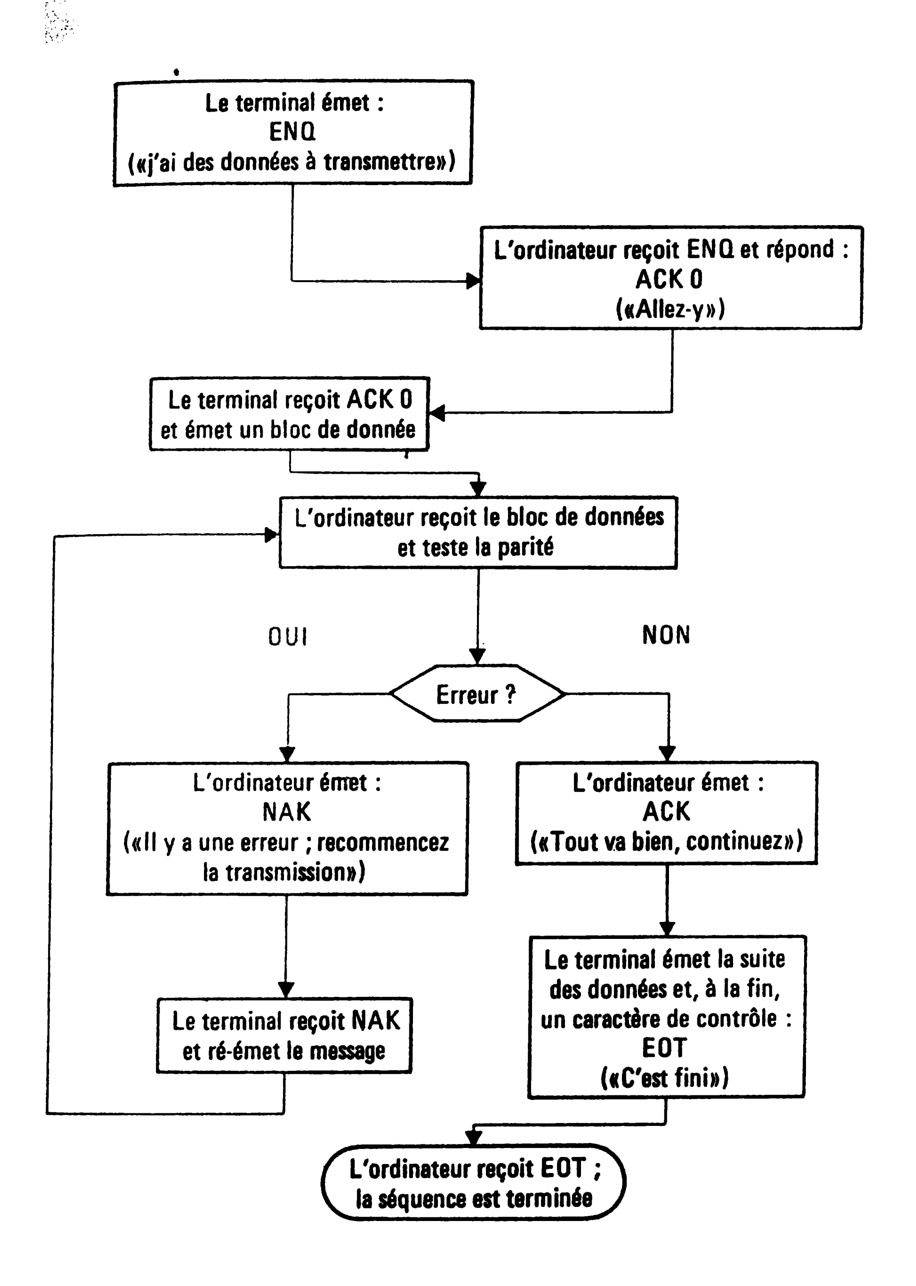


Fig. 2. — Procédure d'échange en Bisync.

• EOT indique la fin d'une transmission contenant plusieurs blocs, en-tête et texte. Il sert également, lors d'une demande de scrutation de différents terminaux, de réponse pour « Rien à transmettre ».

• NAK est l'indicatif d'une erreur.

• DLE sert à encadrer des messages transparents et s'associe à ETX, ITB, ETB, etc.

• ENQ sert, en point à point, pour signaler la fin d'une séquence de scrutation ou de sélection. Il est utilisé aussi pour demander la retransmission d'un ACK ou NAK non reçu.

• ACK 0, ACK 1 : ce sont les deux accusés de réception, utilisés le premier pour les blocs pairs, et le second pour les impairs.

• WACK indique que le récepteur n'est pas prêt. Généralement, l'émetteur enverra alors des demandes « ENQ » auxquelles le récepteur répondra « WACK » jusqu'à ce qu'il soit enfin prêt.

• RVI : c'est aussi un accusé de réception, comme ACK 0, ACK 1 et WACK, mais il signifie en outre que le récepteur, disposant d'une demande prioritaire, veut devenir l'émetteur à son tour.

• TTD sert à réserver une ligne par l'émetteur bien que celui-ci ne soit encore prêt. Le récepteur répondra alors par « NAK », cet échange TTD et NAK se poursuivant tant que l'émetteur n'est pas prêt.

La détection des erreurs se fait par codes redondants verticaux ou longitudinaux, ou cycliques selon le code utilisé. Avec l'ASCII, un code vertical par caractère (parité, par exemple) et un longitudinal est utilisé ; avec l'EBCDIC ou le 6 bits, il n'y aura pas de recherche de parité mais calcul d'un code redondant cyclique de 16 bits pour l'EBCDIC, de 12 pour le six bits (avec le polynôme $X^{12} + X^{11} + X^3 + X + 1$). Rappelons, à ce propos, que le polynôme générateur de l'avis V-41 du *CCITT* est $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$.

D'autre part, et parce qu'on n'entrera pas plus avant dans la présentation de Bisync (les lecteurs intéressés pourront, en particulier, se reporter aux excellents documents publiés par *IBM* sur ce thème), on indiquera que des travaux de normalisation ont été proposés pour les procédures synchrones basées sur le caractère par l'*AFNOR*, l'*ISO* et l'*ECMA*. Les normes résultantes ont été regroupées sous le titre « *Procédures de commande pour transmission de données en mode de base* » et leurs références sont AFNOR-NF - Z 66-010, 011, 015, 020, et ISO 1745, 2111, 2628, 2629, ainsi que ECMA 16, 24, 26, 27, 28 et 29.

Code	Formulation	Signification
SOH	Start of heading	Début d'en-tête
STX	Start of text	Début de texte
ETB	End of transmission block	Fin de bloc
ITB	End of intermediate transmission block	Fin de bloc intermédiaire
ETX	End of text	Fin de texte
EOT	End of transmission	Fin de transmission
NAK	Negative Acknowledgement	Accusé de réception négatif
DLE	Data link escape	Caractère d'échappement
ENQ	Enquiry	Demande
ACK	Affirmative Acknowledgement	Accusé de réception positif
WACK	Wait before transmit ACK	Attendre avant d'émettre ACK
RVI	Reverse Interrupt	Interruption reprise
TTD	Temporary Text Delay	Retard à transmission du texte

Tableau II. — Caractères de commande en BSC (Bisync).

3. LE DDCMP

La procédure Bisync que l'on vient de décrire utilise des caractères réservés de commande qui peuvent être, incidemment, les mêmes que les caractères de données. Pour éviter toute confusion, une procédure d'*échange transparent* a été imaginée, comme on l'a vu. Or, on peut résoudre autrement ce problème en rendant l'ensemble du message « transparent » grâce à l'astuce suivante : *l'en-tête indique quelle est sa longueur*. Dès lors, on sait que les caractères qui suivent sont des données, et ce quels qu'ils soient.

C'est ce qu'a fait *Digital Equipment* en proposant la procédure DDCMP (pour « *Digital Data Communication Message Protocole* »), qui relève ainsi de la seconde catégorie de procédures, celle « orientée octets ».

DDCMP est très général et peut être en synchrone ou asynchrone, semi-duplex ou duplex, série ou parallèle, point à point ou multipoint. Le format général d'un message est donné figure 3. Ici, l'en-tête est obligatoire (puisqu'elle précise, entre autres, la longueur du message de données qui va suivre, en octets) ; elle est même tellement importante qu'elle va disposer de son propre test d'erreur avec le caractère de test noté CRC 1 (CRC pour « *Cyclic Redundancy Cheek* »), le bloc de données se voyant accoler un second caractère de test CRC 2.

SYN	SYN	Classe	Compte (14 bits)	Indicateurs (2 bits)	Réponse (8 bits)	Séquence (8 bits)	Adresse (8 bits)	CRC 1 (16 bits)	Message jusqu'à 16363 octets	CRC 2 (16 bits)

DDCMP

Fig. 3. — Format d'un message DDCMP.

Chaque donnée d'un message est numérotée dans l'ordre de 1 à 255, puis retour à zéro et l'on recommence (« modulo 256 »). Des compteurs compteront donc les caractères de données transmis. Tant qu'aucune erreur n'est détectée sur une chaîne de 256 octets, le récepteur n'a pas à intervenir ; si le récepteur détecte une erreur, il émet un *accusé de réception négatif* (NAK) accompagné du numéro d'ordre *du dernier caractère correctement reçu ;* l'émetteur pourra alors retransmettre le caractère qui a été mal reçu. La longueur maximale d'un message à mots de 1 octet est de 16 363.

Revenons à la structure de la trame du message. Après les caractères de synchronisation apparaît *la classe* du message, en code ASCII avec parité paire : les trois classes possibles sont *les données, les commandes* et *la maintenance,* précisées respectivement par les caractères spéciaux SOH, ENQ et DLE. Le bloc *de compte,* sur 14 bits, donne le nombre de caractères (données) qui vont suivre l'en-tête ; dans le cas d'un mode « commandes » indiqué par le bloc précédent, il précisera l'ordre et même, lors de l'émission d'un NAK, spécifiera, quel type d'erreur a été détecté (données, en-tête, buffer indisponible, vitesse trop élevée, message trop long...)

Les indicateurs suivants, sur deux bits, sont les QS, avec Q pour « *Quick Sync* » qui informe le récepteur que le message sera suivi de caractères de synchronisation, et S pour « *Select* » qui indique que l'émetteur en est à son dernier message, ce qui est nécessaire en semi-duplex ou multipoint.

Le bloc *réponse* contient le numéro d'ordre du *dernier* caractère correctement reçu. Le bloc *séquence* contient, dans le mode « données », le numéro d'ordre de la séquence du message ; en mode « commandes », il servira à l'émetteur pour poser une question telle que : « *Avez-vous correctement reçu tous les messages jusqu'au numéro XXX inclus ?* ».

Le bloc *adresse* sert à identifier une station dans un réseau multipoint. Enfin survient le caractère de test d'erreur. Le message pourra alors être émis, suivi lui aussi par un test d'erreur (CRC 2).

4. LE HDLC

Procédure dite « à haut niveau », le HDLC *(« High Level Data Link Control »,* soit *commande d'un réseau de données, à haut niveau)* est adapté à

des équipements terminaux complexes. Le HDLC fait partie de la troisième catégorie de protocoles, « orientée bits ». C'est une procédure « transparente » pour les codes car elle traite, cette fois, de séquences d'éléments binaires, ce qui permet l'utilisation de n'importe quel code (de longueur quelconque : 5 bits, 6, ou 7, ou 8...).

Le HDLC a été normalisé par l'ISO en plusieurs parties : norme IS 3309-2 pour la structure des trames, IS 4335 pour le détail des éléments de procédures, et DIS 6159 et 6256 pour des mises en œuvre particulières.

Délimiteur (Indicateur)	Adresse	Commande	Informations (données)	Séquence de Contrôle de trame (FCS)	Délimiteur (indicateur)
01111110	1 octet (ou n octets)	1 octet (ou n octets)	Séquence d'éléments binaires	2 octets	01111110

Fig. 4. — La trame HDLC.

Les informations binaires à transmettre se décomposent en *trames*. Une trame constitue le support d'un message ; toutes les trames ont le même format et elles se composent de six zones, ou champs (fig. 4) :

• *Indicateur,* ou *délimiteur :* toutes les trames doivent commencer et finir par un tel *délimiteur* (ou *indicateur,* ou *fanion.* si l'on traduit le mot « Flag » américain). Il se compose de la séquence obligatoire sur un octet 0111 1110 et déclenchera la synchronisation du récepteur, qui recherche en permanence cette combinaison. Par conséquent, elle est *interdite* dans les autres champs de la trame. Pour cela, on insérera automatiquement un *zéro* après chaque séquence de cinq *uns* consécutifs ; le récepteur éliminera ce zéro systématiquement.

• *Adresse :* elle identifie la station secondaire impliquée dans l'échange. Prévue sur un octet, elle peut être étendue par octets si le bit de plus faible poids est porté à 0 ; s'il est à 1, l'adresse ne comprend que 8 bits.

• *Commande :* ce champ contient les commandes et les réponses, ainsi que les numéros des séquences. Utilisé par la station « primaire », il indique à la station « secondaire » (qui reçoit le message) quelle opération elle doit réaliser ; ce même champ servira de support à la réponse de la station secondaire. Un même dispositif d'extension que pour l'adresse est prévu.

• *Information :* c'est le champ « données » ; il contient n'importe quelle suite d'éléments binaires (mais comme on l'a indiqué, cinq *uns* successifs

constituent le maximum de uns à la suite possible et se verront ajoint un zéro). Sa longueur peut être nulle (pas d'information du tout) ou atteindra toute valeur raisonnable compatible avec la bonne qualité de la transmission.

• *Séquence de contrôle de trame,* ou FCS (de « *Frame Check Sequence* ») : c'est le bloc de redondance cyclique, sur 16 bits, donc le reste de la division modulo 2 par le polynôme générateur.

• La trame se termine ensuite par un *délimiteur* semblable à celui qui l'avait ouverte.

Formats

Arrêtons-nous sur le champ de commande. Ses 8 bits définissent trois formats de transmission qui sont : le *format d'information* I, le *format de supervision* S, et le *format non séquentiel* N. Leur seul point commun est le bit repéré par P/F, ou P (de « *Poll* ») est émis d'une station primaire vers une secondaire pour autoriser une transmission et F (le bit « Final »), en réponse à P. Dans ce cas et typiquement, la station primaire envoie un certain nombre de trames à une station secondaire particulière avec le bit P/F à zéro ; quand elle a terminé, elle met P/F à 1 et envoie la trame ; la station secondaire apprend ainsi qu'une réponse est demandée et émettra peut-être à son tour un certain nombre de trames avec le bit P/F à 0 ; etc. Voyons maintenant les formats :

1) *Le format d'information* est utilisé pour les transferts de données. Chaque trame est numérotée, et le champ de commande comporte alors un compteur séquentiel modulo 8 sur 3 bits, pour l'émetteur qui donne le numéro de la trame émise, et un autre compteur modulo 8 pour le récepteur qui indique la prochaine trame attendue.

2) *Le format de supervision* sert à exécuter des fonctions usuelles telles que : accusé de réception, demande de retransmission...

3) *Le format non séquentiel* sert à définir des fonctions supplémentaires de supervision.

Les principales fonctions de supervision sont :

• RR, pour « Receiver Ready » : *réception prête.*
• *REJ, pour « Reject » : rejet.* Elle demande la transmission, ou la retransmission d'une trame à partir d'un numéro donné.
• RNR, pour « Receiver Not Ready » : *réception non prête.*
• SREJ, pour « Selective Reject » : *rejet sélectif.* Est utilisé pour demander la transmission ou la retransmission d'une seule trame.

Parmi les autres commandes supplémentaires, on peut citer SARM *(« Set Asynchronous Response Mode »)* pour un fonctionnement en mode de réponse autonome ; SNRM *(« Set Normal Response Mode »)* pour un fonctionnement en mode normal ; DISC *(« Disconnect »)* pour demander la libération de la liaison ; US *(« Unnumbered Acknowledgement »)* qui est une réponse indiquant qu'une station secondaire a accepté les commandes non numérotées ; CMDR *(« Command Reject »)*, réponse pour une commande rejetée.

5. LE SDLC

A l'origine du HDLC, le SDLC *(« Synchronous Data Line Control »)* est une procédure *IBM*, également orientée « bits » par conséquent. La trame de base est la même que le HDLC ; les mêmes délimitateurs sont utilisés, mais certaines commandes sont différentes, entre autres distinctions

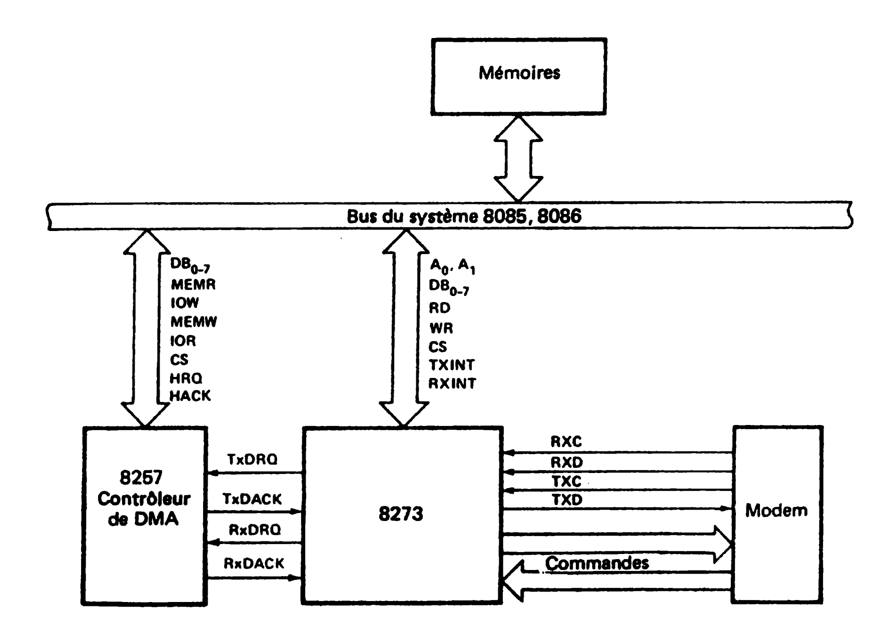


Fig. 5. — Intervention du 8273, circuit intégré de gestion d'échanges appliquant le HDLC ou le SDLC.

6. L'ADCCP

L'ADCCP, ou « *Advanced Data Communications Control Procedure* » est la contrepartie américaine, normalisée par l'*American National Standards Institute* (ANSI), de l'HDLC de l'*ISO*. La norme porte la référence BSR X3-66 et dérive donc, elle aussi, du SDLC d'*IBM*. Quelques traits de l'ADCCP sont évoqués dans le tableau comparatif III.

Caractéristiques	Bisync	DDCMP	SDLC	ADCCP
Duplex Semi-duplex	Non Oui	Oui Oui	Oui Oui	Oui Oui
Commandes	Caractères spéciaux et en-tête optionnelle	En-tête	Champ adresse	Champ adresse
Test d'erreur	Sur message	En-tête et message	Trame complète	Trame complète
Détection d'erreur	VCR/LCR- 8 VCR/LCR-16 CRC-16 CRC-12	CRC-16	CRC-CCITT	CRC-CCITT
Trous entre caractères	Possibles	Interdit	Interdit	Interdit
Transparence	Mode spécial	Inhérente	Inhérente	Inhérente
Orienté	Caractères	Octets	Bits	Bits

Tableau III. — Protocoles USA.

7. CIRCUITS INTÉGRÉS DE GESTION DE PROTOCOLES

Pour gérer les communications selon les protocoles les plus usuels, divers fabricants proposent des circuits intégrés remarquablement complexes exécutant toutes les opérations requises.

Ansi, le 8273 de *Intel* traite le HDLC et le SDLC. Ce circuit à 40 broches intervient dans un système à microprocesseur (famille 8085) comme le montre la figure 5 ; il est relié aux bus du système, à un contrôleur de DMA (accès

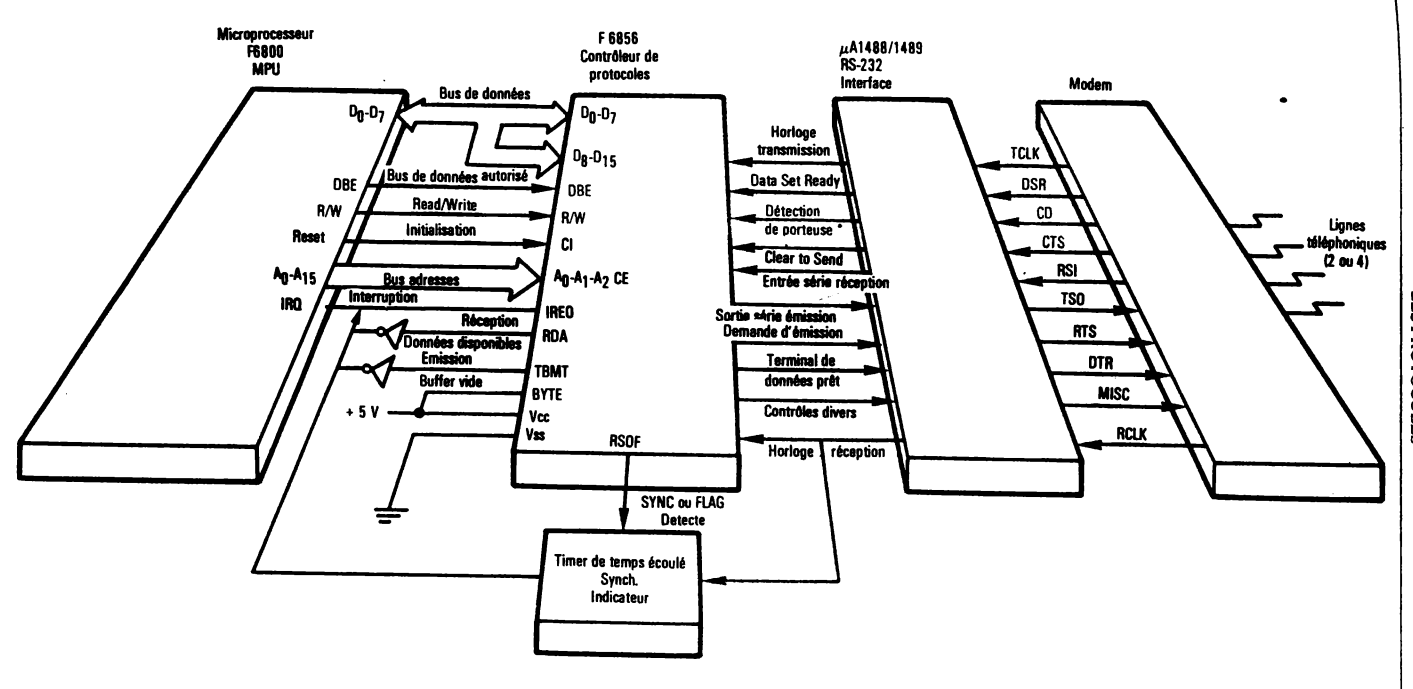


Fig. 6. — **Le contrôleur F 6856 dans un système à microprocesseur 6800.**

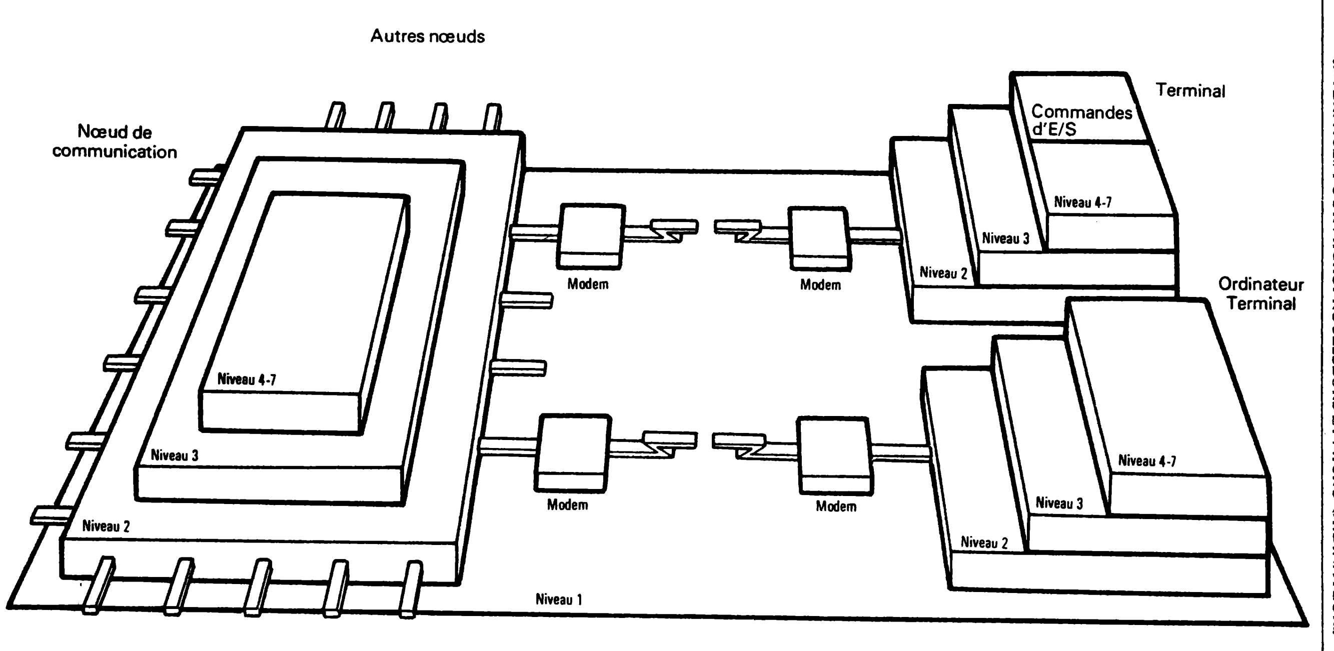


Fig. 7. — La liaison fait partie de la couche 2 du système de référence OSI.

direct à la mémoire) et à un modem. Programmable, il entre dans les applications synchrones ou asynchrones, duplex, semi-duplex ou en boucle (SDLC), peut travailler en code NRZI (« non retour à zéro inversé »), introduit la séquence et teste les trames, etc.

Parmi les autres circuits, on peut citer le SD 1933 de *Western Digital* qui supporte le SDLC, le HDLC et l'ADCCP. Le WD 2501 de la même firme est spécialisé X-25 pour la commutation de paquets. *Signetics* a réalisé le 2652, *Zilog* le SIO, *Fairchild* le 3846 pour les liaisons synchrones en SDLC, HDLC, ADCCP, Bisync, DDCMP... *Motorola,* de son côté, propoe le MC 6854 sous le nom de *« Advanced Data Link Controller »,* ou ADLC ; il travaille en SDLC et HDLC et se présente en boîtier 28 broches pour un système à base de microprocesseur de la famille du 6800. Il a été suivi par le F 6856, traitant le SDLC, l'ADCCP, le HDLC, le DDCMP, et le Bisync, et dessiné figure 6 dans son montage de base avec un microprocesseur 6800. Le 6856 est directement attaqué par le 6800 et sort les informations selon le protocole programmé. Celles-ci sont transmises à une interface classique RS-232 puis transmises par modem.

On pourrait illustrer plus complètement la liaison par la figure 7, qui montre bien qu'elle s'effectue entre les niveaux 2 définis par l'OSI (couches de liaisons de données).

CHAPITRE XVII

TRANSMISSION DE DONNÉES PAR COMMUTATION DE PAQUETS. — TRANSPAC

L'une des techniques les plus récentes pour transmettre des données consiste à fractionner celles-ci en « paquets ». Les réseaux créés sur ce concept offrent la plus haute efficacité.

Ils se partagent en : réseaux à longue distance, illustrés par Transpac qui a été ouvert au public français fin 1978 ; et réseaux locaux qu'on étudiera dans le chapitre suivant.

1. LES TROIS MODES DE COMMUTATIONS

Pour échanger des données, de nombreux réseaux publics et privés ont été établis. Par exemple, les banques ont mis en place des réseaux privés entre les ordinateurs de leur siège et les agences ; les services de télétraitement ou de temps partagé ont également donné naissance à des réseaux. Ceux-ci sont constitués de lignes point à point généralement louées de façon permanente aux Administrations des *P.T.T.* des pays qu'elles traversent. Une analyse quantitative du trafic acheminé par ces lignes montre que, dans la plupart des cas, l'utilisation qui en est faite ne correspond qu'à *quelques pour cents seulement* de la capacité maximale de la ligne. Compte tenu du très fort développement des besoins de transmission de données, il était nécessaire de développer des techniques nouvelles permettant une meilleure utilisation de l'infrastructure des lignes.

Deux types de techniques ont été expérimentées et donnent lieu à des mises en place opérationnelles : la *commutation de circuits* et la *commutation de données,* cette dernière se répartissant à son tour en *commutation de messages* et *commutation de paquets.*

COMMUTATION DE CIRCUITS *La commutation de circuits* consiste, comme pour le téléphone, à relier physiquement par des câbles deux abonnés uniquement pendant la durée de communication effective de données entre eux. A la limite, une liaison physique nouvelle est établie lors de la transmission de chaque caractère. Certains pays, comme les pays nordiques, ont choisi cette technique et mettent en place des réseaux publics de commutation de circuits. Ces réseaux présentent cependant l'inconvénient de nécessiter une infrastructure de commutateurs complexes et se révèlent donc extrêmement coûteux.

COMMUTATION DE DONNÉES *La commutation de données,* beaucoup moins onéreuse, consiste à transmettre au réseau des informations auxquelles l'abonné associe une adresse de destination. Elle se subdivise en deux grandes catégories qui sont la *commutation de messages* et la *commutation par paquets.*

COMMUTATION DE MESSAGES *On dit qu'il y a commutation de messages lorsque des messages entiers sont émis vers des centres de commutation où ils sont stockés ; cela, jusqu'au moment où des supports deviennent disponibles pour les acheminer plus loin, jusqu'à leur destination.* Le cheminement du message passe donc par des phases d'émission et de stockage temporaire.

Comparé au mode précédent, la commutation de messages n'est pas *interactive :* les deux extrémités de la chaîne ne sont pas en relation au même instant, comme avec les échanges du téléphone. En revanche, les temps morts d'une liaison téléphonique disparaissent et la ligne téléphonique est utilisée au mieux de ses capacités. En outre, le système de commutation de messages, fondé sur un ordinateur avec ses mémoires, enregistre les messages pendant les périodes de pointe et utilise ensuite les temps qui, autrement, seraient des temps morts pour les acheminer ; l'efficacité, le rendement, sont ainsi bien supérieurs. Il en résulte que *tous* les messages passent, alors qu'avec le téléphone ou le télex, la période de pointe fait perdre des communications... ou la patience.

Une analyse plus complète des caractéristiques comparées de ces principes devrait encore faire intervenir le « caractère émotionnel » d'une liaison téléphonique qui disparaît bien évidemment en commutation de messages, cette dernière formule offrant par contre un document écrit.

Les points critiques dans une communication sont, on le sait, le délai nécessaire et le prix. Souvent, un compromis intervient. En commutation de messages, si le système fonctionne à sa capacité maximale (100 %), les délais risquent de s'accroître. Par contre, à 80 % de sa capacité, les retards sont insignifiants *à la condition qu'il n'y ait pas de messages d'une longueur excessive* qui bloqueraient la transmission des autres. Si tel devait être le cas, il vaudrait mieux scinder un long message en plusieurs petits, appelés des *paquets.* Ainsi

COMMUTATION DE PAQUETS en est-on arrivé à la *commutation de paquets*, qui offre de nombreux avantages.

• Ces paquets sont acheminés sur des lignes banalisées, et remis à leurs destinataires par le réseau. Les câbles entre commutateurs sont utilisés à un instant donné au profit de l'ensemble des abonnés du réseau. Les réseaux de commutation de données tels que Transpac acheminent des paquets et utilisent le standard X-25 qui permet d'établir une communication entre deux abonnés avant de véhiculer les paquets de données. Cette technique assure une bien meilleure qualité de service et a été reconnue mondialement comme base des réseaux publics de transmissions de données.

En période de pointe, Transpac établit les communications en moins de 1,5 s dans 90 % des cas et le temps de transit d'un paquet reste inférieur à 0,2 s. La sécurité est quasi-totale grâce au doublement des artères de communication. En cas de panne ou d'encombrement d'une des mailles du réseau, l'information emprunte un autre chemin. L'accès à Transpac peut être obtenu à travers le réseau téléphonique ou télex. Les raccordements directs sont réalisés par des liaisons spécialisées en *transmission synchrone* (« mode paquet ») de 2 400 à 48 000 caractères par seconde environ, ou en *asynchrone* (caractère par caractère) de 110 à 1 200 bauds.

2. LES RÉSEAUX DE TÉLÉ-INFORMATIQUE

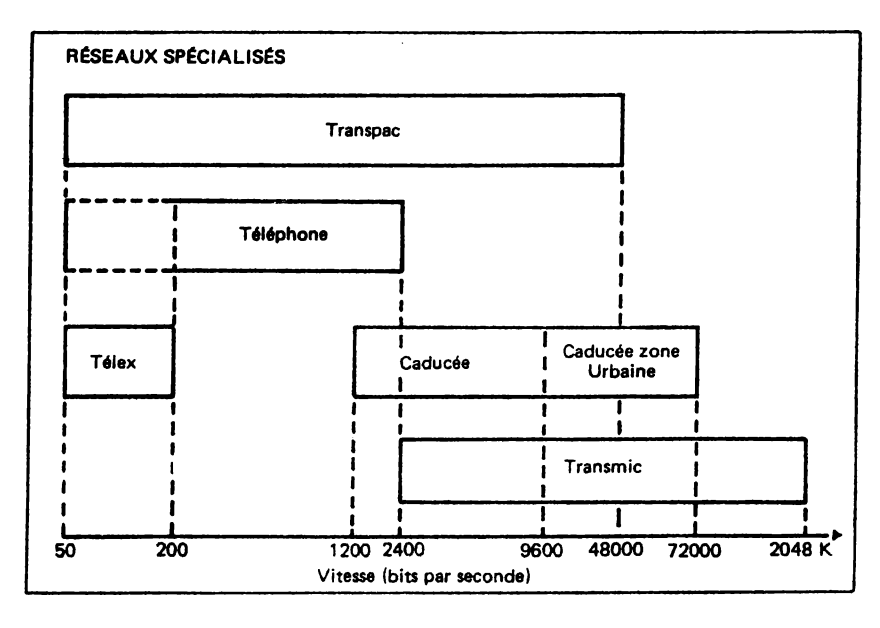
De nombreux réseaux ont été créés en France. La figure 1 situe ainsi Transpac. Dans cette figure apparaissent les réseaux :

• *Caducée :* à commutation de circuits, il a été ouvert en 1972. Il va jusqu'à 9 600 bits/s et même 72 K bits/s en bande de base, mais sur 30 km seulement.
• *Transmic :* constitué par des liaisons spécialisées, ce service permet de réaliser par multiplexage temporel des liaisons à 2 048 M bits/s.
• *Transplex :* ce service de location de circuits à faible vitesse (100 à 1 200 bauds) a été ouvert en 1973. Il utilise le multiplexage temporel sur liaisons téléphoniques à 4 800 bits/s.

D'autres réseaux ont été implantés, tels que *Cyclades* (1972) utilisant un réseau de transmission et données *Cigale,* ou le réseau expérimental RCP qui est à l'origine de Transpac.

3. PRINCIPE DE LA LIAISON PAR PAQUETS : TRANSPAC

La *transmission par paquets* consiste à fragmenter l'information et à faire se succéder, sur une artère de transmission, des blocs d'information au format bien défini et comportant, outre les données utiles, des informations de service servant à l'acheminement, au contrôle et à la gestion du réseau. Ces blocs



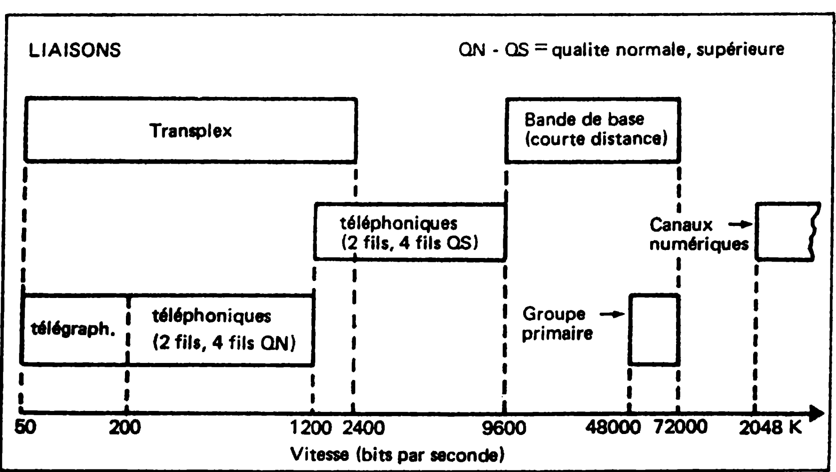


Fig. 1. — Transpac et sa gamme de débits.

d'information, ou *paquets,* sont séparés par des moments de « silence » plus ou moins longs selon l'importance du trafic.

La *commutation par paquets* consiste à recevoir ces blocs d'informations sur des artères *entrantes* et à les acheminer sur des artères *sortantes ;* les

paquets survenant à des instants aléatoires, il faut pouvoir les enregistrer ne serait-ce que le temps de libérer une artère sortante : telle est la fonction des *commutateurs.* « Transpac » est le type même de ce service, applicable pour toutes distances (à l'exception des réseaux locaux).

TRANSPAC

La dimension d'un paquet n'est pas liée à la dimension du message que l'utilisateur transmet. La découpe du paquet se fait en fonction des obligations imposées par conception par le réseau. Les *supports physiques* (artères) et les *commutateurs* sont indépendants des vitesses de communication (celles-ci vont de 50 à 48 000 bits/seconde). Le rendement des artères est élevé. La figure 2 illustre le principe de la transmission par paquets.

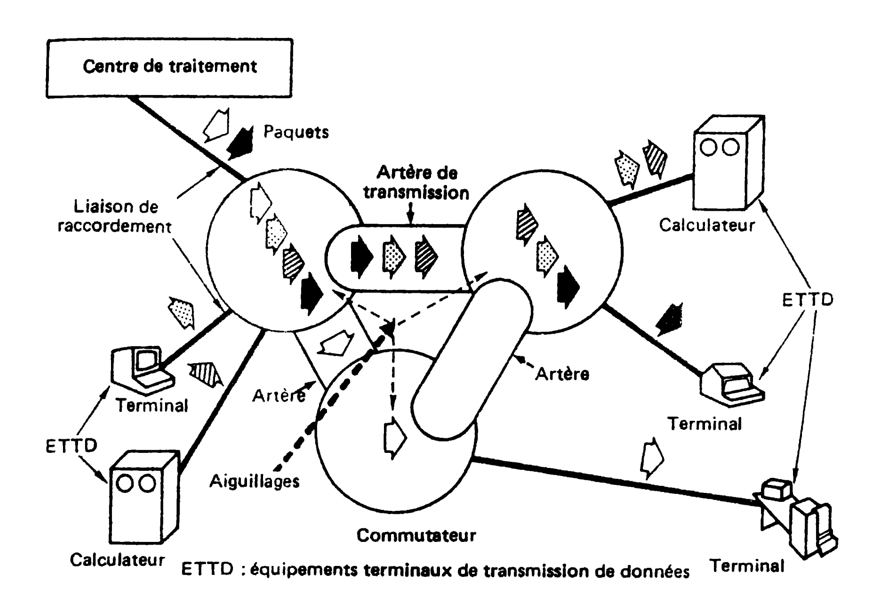


Fig. 2. — Principe d'un réseau par commutation de paquets. Chaque paquet suit une voie qui lui est propre.

Le réseau est réalisé autour d'un ensemble de mini-ordinateurs (des Mitra 125 de la *SEMS*) qui constituent les *nœuds de commutations.* Ils sont reliés entre eux selon un *réseau maillé ;* les liaisons, doublées par sécurité; sont à 12 Kilobits par seconde (fig. 3).

Les abonnés synchrones (de 2 400 à 48 000 bits/s) sont reliés directement à ces commutateurs. Les abonnés asynchrones (de 50 à 1 200 bits/s) ainsi que les accès via le téléphone commuté ou le télex se font sur des multiplexeurs temporels, eux-mêmes reliés en local ou à distance aux commutateurs (fig. 4 et tableau I). Ceux-ci sont, à leur tour, organisés autour d'un double bus (l'un

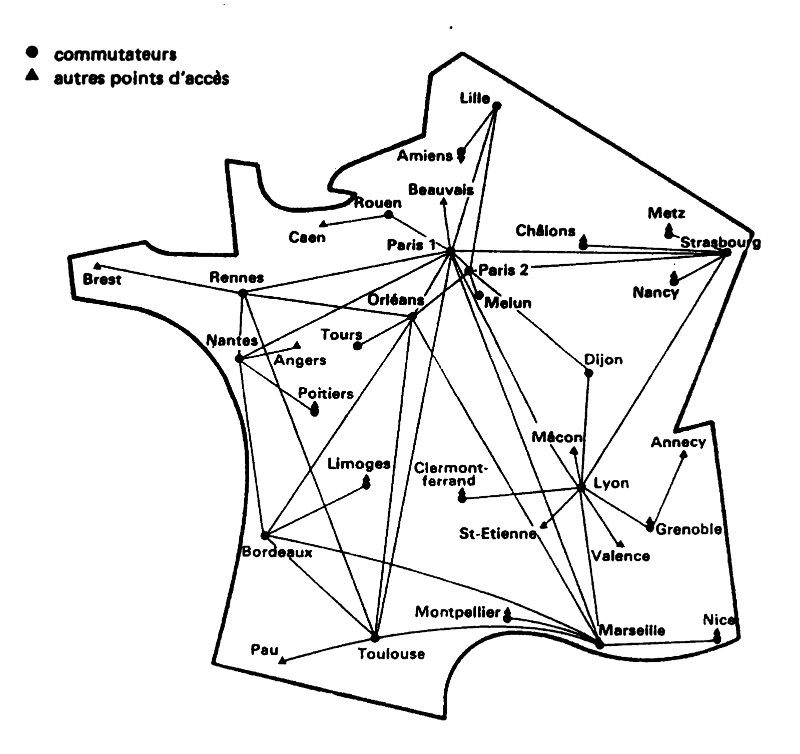


Fig. 3. — Implantation du réseau Transpac pour les voies rapides (minimum de deux canaux à 72 000 bits/s).

d'eux est en secours) auquel sont connectés les *unités de commande* et les *modules de commutation.* Les premiers sont encore des ordinateurs Mitra 125 alors que les seconds sont des CP 50 : il s'agit d'un ensemble de processeurs spécialisés et rapides, avec des mémoires, qui gèrent les entrées-sorties, les procédures et la commutation des paquets (fig. 5).

Un module de commutation supporte jusqu'à 500 lignes d'abonnés et traite un trafic de 500 K bits/s. Un commutateur accepte jusqu'à 32 modules de commutation, soit 16 000 abonnés.

Le routage des paquets peut passer toujours par les mêmes commutateurs, pour deux correspondants donnés, ou non : au lieu d'être *fixe,* il devient *adaptatif* et tient compte du chemin le plus court, ou le plus rapide, ou le mieux adapté à l'équilibre du trafic sur l'ensemble du réseau. Le choix de ce chemin est fait par le centre qui collecte les informations nécessaires, ou par chaque commutateur.

CIRCUITS VIRTUELS Pour que deux « équipements terminaux de transmission de données », ou « ETTD », soient mis en

Faisceaux de lignes
à 72 k bits/s vers
les autres nœuds
MS
MS
PCL
Commutateur
MS
MS
Liaisons spécialisées
synchrones
(ETTD-P)
Réseau télex
(ETTD-C)
Multiplexeur
MA
MA
Liaisons spécialisées
asynchrones
(ETTD-C)
MS
MA
Réseau commuté
téléphonique (ETTD-C)
MS
Multiplexeur
distant
MA
MA
Liaisons spécialisées
asynchrones
(ETTD-C)
MA
Réseau commuté
téléphonique (ETTD-C)

MA	Modem Asynchrone
MS	Modem Synchrone
PCL	Point de Contrôle Local
ETTD-C	Equipement terminal de transmission de données en mode caractères
ETTD-P	id, en mode paquets

Fig. 4. — Principe du raccordement à un commutateur.

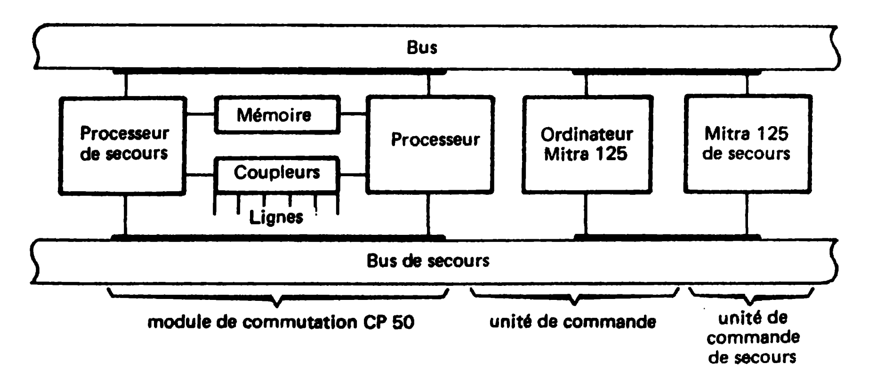


Fig. 5. — Structure d'un commutateur.

communication par le réseau, il faut que leur association soit connue de ce réseau. On crée donc un *circuit*, mais il est dit *virtuel* car il n'y a pas de liaison fixe entre les deux correspondants. Un ETTD peut gérer plusieurs communications sur une *liaison unique de raccordement* en identifiant chacune d'elles à l'aide d'un *numéro de voie logique* qui figure dans l'en-tête des paquets.

Dans son acception plus générale, un *circuit virtuel* pourra cependant être, au choix : *permanent*, c'est-à-dire établi à demeure entre deux abonnés comme une liaison spécialisé ; ou *commuté*, donc établi à l'initiative d'un correspondant.

Les PAD. — Certains terminaux, asynchrones, tels que télé-imprimeurs ou visuels, ne peuvent s'adapter directement à l'interface Transpac. De ce fait, on passe par un convertisseur spécial appelé « PAD » pour *Programme Assembleur et Désassembleur de Paquets*. C'est une entité logique qui, dans le

Terminal	Vitesse de chaque ligne (bits/s)	Type d'accès	Modems d'abonnés (1 par ligne) fournis par :
ETTD/C	50	Réseaux télex	Cet accès n'est possible qu'à partir d'un télé-imprimeur du réseau télex.
	110 150 200 300	Liaison spécialisée 2 fils ou réseau téléphonique commuté	L'utilisateur
	600 1 200	Liaison spécialisée	TRANSPAC
ETTD/P	2 400		
	4 800		
	9 600		
	19 200		
	48 000		

ETTD/C = Terminal de type «caractères»
ETTD/P = Terminal de type «paquets»

Tableau I. — Les accès à Transpac.

réseau, gère d'un côté un circuit virtuel et de l'autre, un terminal nécessitant une conversion de procédure. Cette conversion de procédures applique les avis X-3, X-28 et X-29 approuvés en 1977 par le *CCITT*.

Points de contrôle locaux (« PCL »). — On appelle *points de contrôle locaux* les centres d'exploitation qui servent aux opérations courantes. Ils sont constitués à l'aide d'ordinateurs Mitra 125.

En références bibliographiques, on pourra se reporter au volume indiqué en [13] pour étudier plus à fond les communications par paquets et aux très nombreux documents édités à ce propos : normalisation, documents des fabricants, etc.

4. LA RECOMMANDATION X-25

L'interface standard d'accès à Transpac pour les équipements terminaux (« ETTD ») synchrones, de 2 400 à 48 000 bits/s, est conforme à l'avis X-25 du CCITT. Il porte sur :

1) — *La jonction physique* entre l'ETTD et le modem ou le convertisseur en bande de base (fournis par Transpac) et appelés « ETCD », pour « Equipements de Terminaison de Circuits de Données ». Elle est définie par les avis V-24 jusqu'à 19 200 bits/s et V-35 jusqu'à 48 000 bits/s.

2) — *La procédure* de la liaison d'accès ; elle est conforme au HDLC, ou encore au « mode de base ».

3) — *Le niveau paquet* pour la gestion des circuits virtuels.

La figure 6 donne quelques exemples de trames (ou « procédure de liaison d'accès). L'en-tête comporte un indicateur, puis une adresse qui précise qui est l'émetteur et un octet de contrôle qui indique la fonction du paquet (commandes ou données). Le bloc de fin comporte le caractère de test d'erreur (CRC) et un indicateur. La zone *données* peut recevoir jusqu'à 128 octets ; certains réseaux prévoient d'autres valeurs, jusqu'à 1 024, ce qui amènera à envisager un chaînage.

AVIS X-25

Recommandation adaptée par le CCITT et normalisant l'interface d'accès aux réseaux de transmission de données par paquets, au niveau :

- **du raccordement des équipements ;**
- **des règles d'échange des messages.**

Il n'inclut pas la définition du contenu des messages, ni celle des fontions des équipements.

CIRCUIT VIRTUEL

Relation établie à travers le réseau entre deux abonnés qui permet la transmission de séquence de données, sans restriction de longueur, ni de nature. Il est commuté (établi et libéré à l'initiative de l'un des correspondants) ou permanent.

COMMUTATEUR, OU NŒUD

Ordinateur, constitué de modules de commutation et d'unités de commande, dont la fonction est de :

- **reconnaître la présence d'un paquet ;**
- **examiner les données de service contenues dans chaque paquet ;**
- **déceler les erreurs éventuelles de transmission ;**
- **aiguiller les paquets vers le bon itinéraire.**

PAD

***Programme d'Assemblage et de Désassemblage* (conversion caractères-paquet) permettant la connexion des terminaux asynchrones (terminaux en mode caractère c'est-à-dire travaillant caractère par caractère à des débits inférieurs ou égaux à 1 200 b/s). Ce service est fourni par Transpac.**

PAQUET

Bloc de séquences de données provenant d'un terminal ou d'un ordinateur. Chaque paquet est accompagné d'informations de service (comportant notamment « l'adresse » du destinataire) permettant de l'identifier au cours de son acheminement vers la destination choisie. Le paquet est libéré des informations de service une fois livré, à l'image (postale) d'un colis dont on enlèverait l'étiquette au moment de sa livraison au destinataire.

Tableau II. — Aperçu sur la terminologie employée avec Transpac.

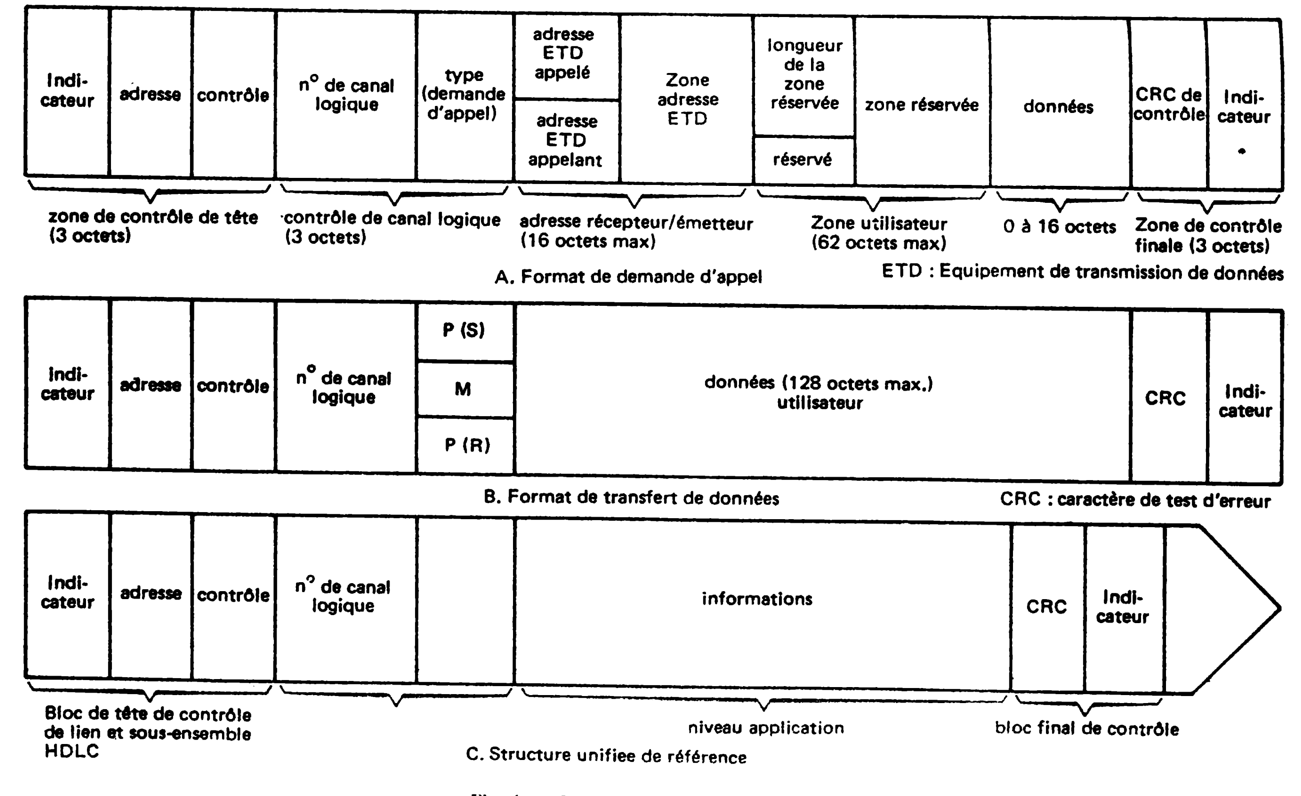


Fig. 6. — Exemple de formats aux normes X-25.

5. ÉVOLUTION ET TARIFICATION

La mise en service du « Nœud de Transit International » (NTI) par la *Direction des Télécommunications du Réseau International* (D.T.R.I.) a ouvert l'ère de la transmission internationale de données par paquets. Ainsi, en 1980, Transpac devait être connecté, via le NTI, à d'autres réseaux du même type :

• *EURONET,* qui couvre actuellement l'Allemagne, la Belgique, le Danemark, la France, l'Irlande, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas et le Royaume-Uni et dont une extension est prévue à d'autres pays d'Europe (notamment la Suisse) ;

• *TELENET* et *TYMNET* aux U.S.A.

D'autres relations devraient être établies par la suite. Cet ensemble constituera, après le téléphone et le télex, un nouveau réseau international de télécommunications.

L'accès au service international est ouvert à tous les abonnés Transpac reliés directement au réseau, dans le cadre de leur abonnement, ainsi qu'aux utilisateurs accédant à Transpac par le réseau téléphonique qui auront souscrit un abonnement spécifique auprès de la D.T.R.I.

La tarification nationale de Transpac comprend un *abonnement mensuel* couvrant l'ensemble des moyens d'accès (liaison et modems) indépendant de la situation géographique mais lié à la classe de débit, une *taxe proportionnelle à la quantité de données transmises* et cela, indépendamment de la distance en France, et enfin une *taxe proportionnelle à la durée des communications* pour les circuits virtuels commutés, ou une *location mensuelle* de circuits virtuels permanents. Les liaisons avec l'Europe ou les USA supporteront des taxes supplémentaires au temps et au volume.

Globalement, le prix intéressant des liaisons devrait gagner à ce réseau un nombre croissant d'utilisateurs rebutés par les prix des autres systèmes de transmission.

CHAPITRE XVIII

LES RÉSEAUX LOCAUX

Un réseau local sert à réaliser l'interconnexion des équipements informatiques dans un lieu géographique limité. Il vise à permettre un dialogue entre les différents équipements, mettre en relation des unités de traitement avec des périphériques uniques, donner accès aux bases de données ou à des fichiers centralisés dans une entreprise, assurer la déconcentration de l'informatique. Le réseau local répond essentiellement aux couches « liens » et « physiques » des normes ISO.

1. QUELQUES DEFINITIONS

L'informatique répartie a conduit à distribuer, à l'intérieur et aux différents niveaux d'un établissement, les moyens informatiques de saisie, de traitement, de stockage et d'interrogation. Le flux des données s'est considérablement accru. Des concepts tels que *le réseau de productivité industrielle* de *Hewlett-Packard,* témoignent d'une évolution qui paraît irréversible : vers l'interconnexion de tous les équipements informatiques rassemblés en un lieu géographique, et concernant la gestion, la production, la bureautique, etc. Mais comment interconnecter tous ces équipements (fig. 1) ?

Les moyens classiques, téléphones, lignes directes, se révèlent trop lents et trop peu fiables. Aussi a-t-il fallu étudier d'autres principes, qui ont débouché sur la réalisation de *réseaux locaux,* implantés dans un cadre géographique délimité et dont la portée est limitée à quelques kilomètres. Comme dans tous les types de réseaux, on peut définir :

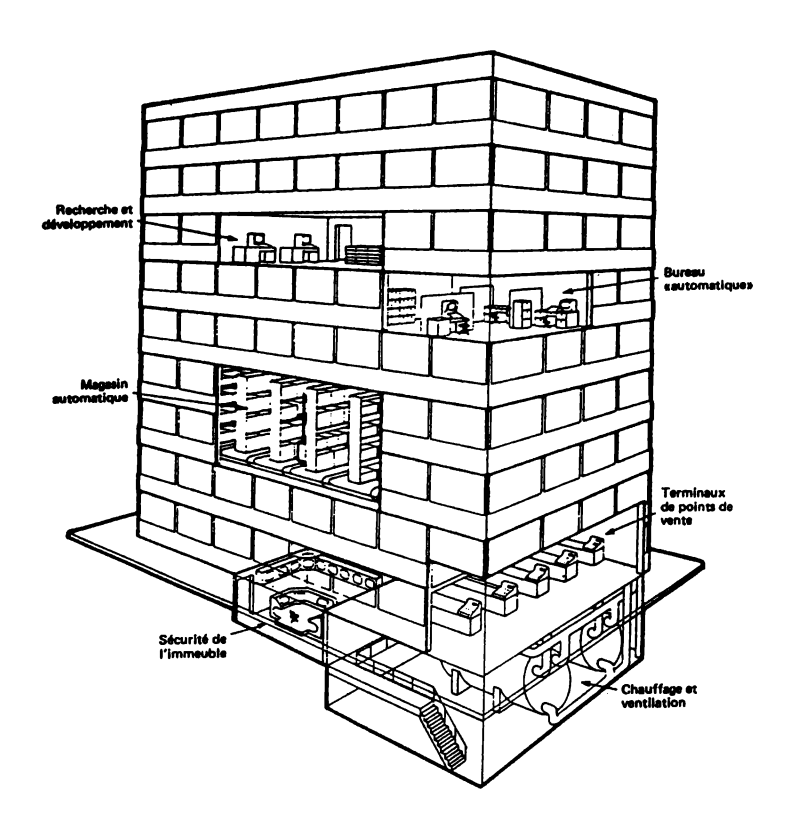


Fig. 1. — L'immeuble du futur, vu par Intel : toute son informatique pourrait être organisée en réseau via Ethernet, de façon économique, afin d'assurer le meilleur partage des ressources.

RÉSEAU FERMÉ

• **Le réseau fermé** : il s'applique à des équipements provenant généralement d'un unique constructeur, et compatibles par construction. L'interconnexion de ces équipements est prévue par ce constructeur mais exclut des matériels d'autres sources.

RÉSEAU OUVERT

• **Le réseau ouvert** : il s'applique à l'interconnexion d'équipements de toutes origines. La communication ne sera toutefois possible entre les divers matériels que si une compatibilité minimale est assurée (protocole commun d'échange, ou système d'exploitation...)

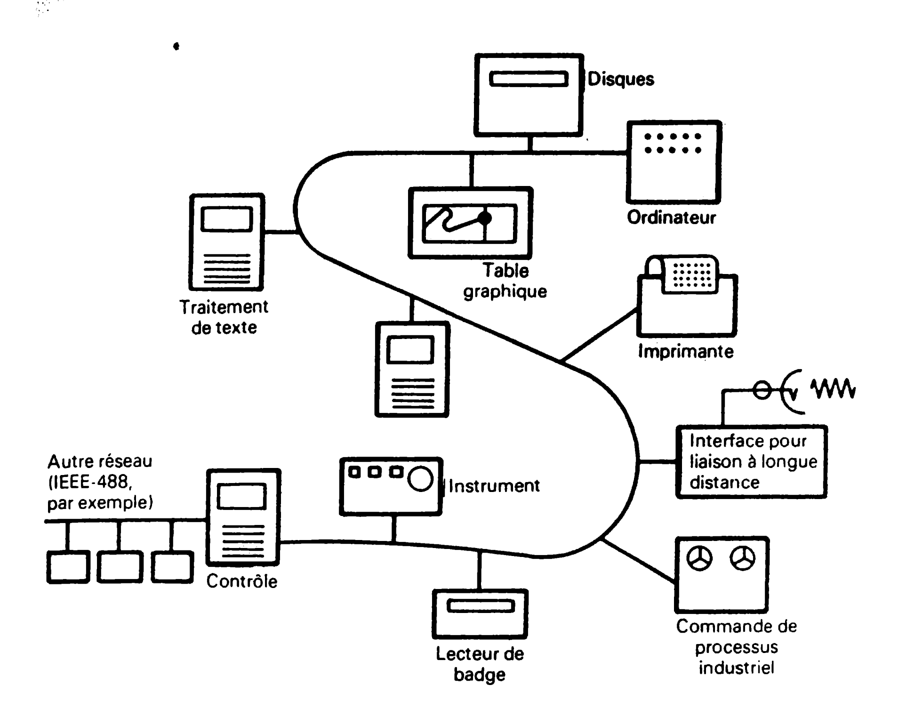


Fig. 2. — Organisation type d'un réseau local. Tous les équipements sont connectés à la voie physique de liaison, paire torsadée ou coaxial.

Plusieurs normalisations de réseaux locaux sont en cours et devraient déboucher sur la création de réseaux *ouverts.* Selon les réseaux, la liaison entre les matériels est assurée par un câble coaxial ou une paire torsadée de fils, de premiers essais ayant aussi eu lieu avec des fibres optiques (fig. 2). Les architectures les plus générales sont *en bus, en boucle* ou *en étoile.* Les applications en vue sont la transmission :

- des informations numériques et graphiques ;
- mais aussi de la parole et de la vidéo.

La vitesse de transmission peut varier de 50 bits par seconde à 200 M bits/s (fig. 3) et le réseau devrait pouvoir raccorder plusieurs dizaines sinon centaines de postes. Ceux-ci sont connectés via des *interfaces,* relativement onéreuses (plus de 10 000 F par poste) mais dont le prix devrait baisser dans la

mesure où des circuits intégrés spécialisés verront le jour ; l'ambition est de ramener à quelque 1 500 F le prix de l'interconnexion par poste.

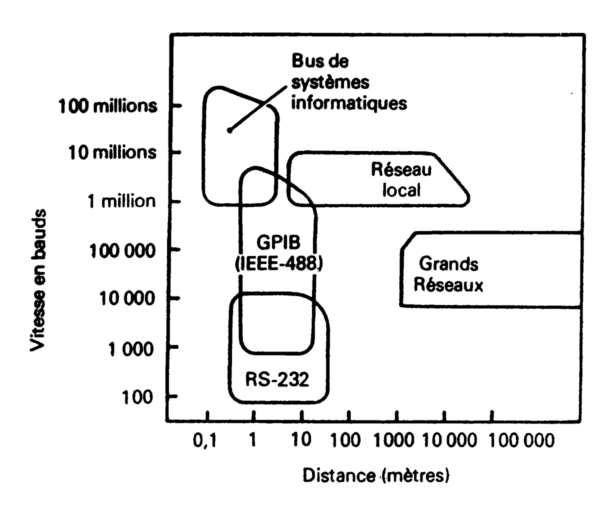


Fig. 3. — Vitesse de la liaison et distances comparées des réseaux locaux et des autres types de réseaux.

La liaison elle-même peut être assurée en :

TDM

• *Bande de base* où l'on emploie les systèmes multiplexés dans le temps (« TDM » : *time division multiplexing*). Les niveaux binaires sont placés sur la ligne.

FDM

• *Large bande,* en multiplexage de fréquences (« FDM » : *frequency division multiplexing*). Les niveaux binaires servent à moduler des ondes ; cette méthode autorise plusieurs stations à intervenir *simultanément* sur le réseau mais elle mène à des processus unidirectionnels par canal, ce qui implique l'emploi de voies séparées pour l'émission et la réception (soit des *fréquences distinctes* sur un unique câble, soit des *câbles distincts*).

Les dispositifs à large bande exploitent le nombre élevé de canaux, 50 ou davantage, qu'un simple câble peut transmettre. Ils traitent aisément l'audio

Les milieux physique de transmission pour réseaux locaux			
	Vitesses de transmission (Mbits/s)	Nombre de nœuds	Applications typiques
Paires torsadées	1	Quelques dizaines	• Groupement de ordinateurs
Câble coaxial en bande de base	10	Quelques dizaines à plusieurs centaines	• Bureautique • Micro-informatique
Câble coaxial à large bande	300	Quelque centaines par canal	• Informatique décentralisée • Télésurveillance • Téléconférence
Fibre optique	⩾ 50	Deux, mais davantage à l'avenir	• Liaisons entre ordinateurs • Tous réseaux

et la vidéo. Physiquement, si le nombre de câbles s'élève, on en arrive très vite à une organisation de type étoile.

2. LE PROBLEME DES COLLISIONS

Le « TDM » opère en bande de base, c'est-à-dire sur les fréquences de base, ce qui paraît plus économique. Il peut être synchrone ou asynchrone :
• *Le mode synchrone* implique l'existence d'une commande centralisée qui répartit les temps.
• *Le mode asynchrone,* lui, peut être aléatoire, ou contrôlé et c'est sur lui que nous allons insister.

L'un des problèmes les plus difficiles à résoudre réside dans le fait qu'à un instant donné, une seule liaison peut s'effectuer sur la ligne (puisqu'il n'y a pas de multiplexage en fréquence mais dans le temps). Si deux équipements émettaient simultanément, leurs messages se brouilleraient et deviendraient inintelligibles ; on dit, dans ce cas, qu'il y a *collision.* Pour éviter les collisions, diverses méthodes s'affrontent :

CSMA

• Selon la première, l'équipement désirant émettre « *écoute* » la ligne et, s'il ne détecte aucun trafic, il envoie son message. C'est ce qu'on désigne par CSMA *(« Carrier Sense Multiple Access »).* Si la ligne est occupée, il attendra qu'elle soit libre.

• La seconde attribue, à tour de rôle, un *droit d'accès* aux équipements, sous forme de « passation d'un jeton d'accès » (c'est un permis d'émettre), ce que les Américains définissent par « *token passing* » (passage d'un jeton). L'équipement disposant du « jeton » peut émettre, les autres attendant à tour de rôle de le recevoir.

MÉTHODE DU JETON

• Une troisième méthode peut être appliquée pour éviter les collisions : c'est le classique fonctionnement en « maître-esclave », un *maître* gérant le réseau. Elle est peu retenue.

2.1. Accès aléatoire avec détection de collision

L'accès aléatoire CSMA se fait sur des lignes bouclées ou en bus. Tous les équipements connectés peuvent recevoir un message émis, bien que généralement, le message désigne son, ou ses destinataires. Certaines formes de CSMA demandent un accusé de réception au destinataire, ce qui pénalise en temps mais garantit que le message a été bien reçu. Ce qui multiplie, aussi, les risques de collision.

Pour surmonter ces problèmes, des réseaux tels que ceux d'Ethernet, Z-Net, Net-One..., ajoutent une *détection de collision* notée CD en anglais au CSMA qui devient un CSMA/CD. Avec la détection de collision, la station émettrice continue à *écouter* la ligne après avoir commencé à émettre : si elle *n'entend* que son propre message, elle suppose que tout va bien. Si elle entend un « brouillage », elle suppose qu'une collision s'est produite avec un message émis simultanément par une autre station. A ce moment, les deux stations cessent d'émettre ; elles démarrent une temporisation fixée aléatoirement puis feront une nouvelle tentative d'émission. La temporisation aléatoire rend peu probable une nouvelle collision entre elles.

Chaque message transmis doit durer au moins deux fois plus de temps que le temps nécessaire pour joindre les stations les plus distantes, cela afin de garantir que la collision est détectée *avant* la fin d'une transmission. Par exemple et sur 1 km, si le temps est de 6,6 μs, le message devra durer au moins 13,2 μs ; avec une vitesse de transmission de 10 mégabits par seconde, cela correspond à un message de 132 bits. En effet, si l'émetteur et le destinataire sont distants de 1 km, le destinataire ne commencera à recevoir le message que 6,6 μs après que celui-ci ait été émis ; mais si lui-même, après 6,59 μs avait commencé à émettre, il y aurait eu collision et le premier émetteur n'aurait pu en avoir connaissance qu'après 13,1 μs.

S'il y a une limite inférieure à la longueur du message, il n'y a pas de limite *supérieure*, ce qui permettrait des monopolisations abusives de la ligne. Plus

grave, le temps d'accès ne peut être prévu : il est statistique ; les risques de collision s'accroissent avec le nombre des équipements et leur « volubilité ».

2.2. Passage de jeton

La méthode de passage d'un droit d'accès, symbolisé par un jeton fictif, s'applique au TDM asynchrone, contrôlé cette fois. Le contrôle peut être *centralisé* (le « jeton » est distribué par un poste central, ce qui ramène à un système avec balayage très classique), ou *distribué,* le jeton passant d'un équipement à l'autre : c'est cette méthode qu'on appelle le passage du jeton *(« token passing »).* Elle est illustrée par les réseaux *Tandy, Datapoint, IBM...*

Aucune station ne peut émettre si elle ne possède pas le jeton. Après émission, elle transmet le jeton à sa voisine. Si une station qui n'a rien à émettre reçoit le jeton, elle peut soit passer immédiatement, soit le conserver un instant, selon la formule adoptée. Enfin, des attributions hiérarchiques peuvent autoriser certaines stations à conserver le jeton plus longtemps que d'autres. Bien que nous n'ayons pas cité toutes les possibilités, on voit que celles-ci sont déjà nombreuses. Dans un réseau bouclé, le jeton peut revêtir l'aspect d'un indicateur, positionné à zéro ou à 1.

Ici, et par principe, il faut que le temps de passage du jeton autour de la boucle soit plus long que celui du message ; ainsi, le message doit être court comparativement au temps de circulation sur la boucle.

L'avantage essentiel de la méthode réside dans l'élimination des collisions qu'elle procure, par principe. D'autre part, le temps d'accès peut être déterminé, en valeur maximale et en valeur moyenne (celle-ci sera à peu près égale à la moitié de la valeur maximale) ; le temps d'accès maximal se manifeste lorsqu'une station veut émettre alors qu'elle vient tout juste de passer le jeton.

IBM, qui applique ce principe, considère d'ailleurs que le réseau local constitue un sous-ensemble de son réseau SNA (« System Network Architecture ») ; mais la société ajoute un peu de contrôle centralisé.

3. LES PRINCIPAUX RÉSEAUX LOCAUX

Plus d'une douzaine de réseaux locaux se disputent le marché. L'organisme américain *IEEE* tente de normaliser les projets (« Comité 802 »), tout comme l'*ISO,* représenté en France par l'*AFNOR.*

3.1. Le réseau Ethernet

Afin d'assurer l'interconnexion de divers matériels informatiques émanant de plusieurs sources, trois fabricants, *Xerox, Digital Equipment* et *Intel,* ont étudié des spécifications relatives à des liaisons internes à une entreprise ou un immeuble dont les performances seraient :

- Vitesse de la transmission : 10 mégabits/seconde ;
- Nombre de matériels reliés : 128 ordinateurs et terminaux ;
- Distance : 500 mètres par segment.

C'est un réseau du type CSMA/CD. Les liaisons sont fondées sur un réseau créé par *Xerox* et appelé « Ethernet » ; il a été présenté fin 1979 après quelques années d'expérimentation. Dans son application la plus générale, il pourrait servir à relier les diverses machines ou systèmes représentés, par exemple, dans la figure 2, et ce à l'aide d'un unique câble coaxial comme le montre la figure 3. Ce n'est que fin 80, que les trois sociétés intéressées ont présenté les spécifications complètes du système ; il ne pourrait donc entrer largement en service qu'au cours des années 80.

Chaque élément connecté au réseau serait équipé de circuits de commande reliés à des émetteurs-récepteurs. Ainsi, le système de communication reste totalement passif et le réseau ne comporte ni logique de commutation, ni ordi-

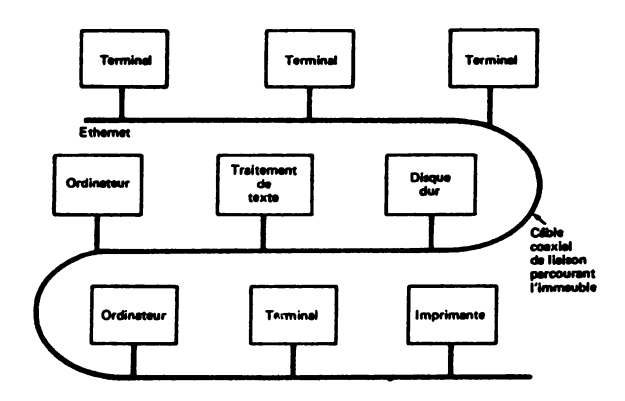


Fig. 2. — Architecture d'un réseau Ethernet. Il permet, via un câble passif, le partage des ressources.

nateur de commande centrale. Il accepte simplement les informations de ses diverses composantes et si l'une de celles-ci est défaillante, les autres n'en sont pas affectées.

Chaque ordinateur, terminal, système de traitement de text, etc., relié au réseau dispose de sa propre adresse sur 48 bits. L'information est transmise en série, par « paquets ». L'émetteur-récepteur attaché à l'élément intervenant interroge le câble avant l'émission afin de s'assurer de sa disponibilité et pendant la transmission pour détecter toute interférence. Si une autre émission avait lieu simultanément (interférence), une procédure de ré-émission, décrite précédement, serait appliquée.

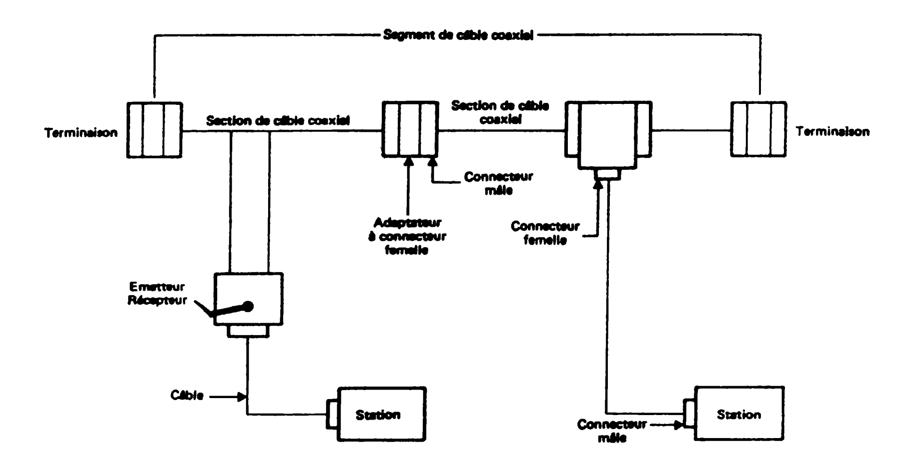


Fig. 3. — Les composants d'un réseau Ethernet.

Le destinataire reconnaît son adresse et accepte son message, ignorant ceux qui ne lui sont pas destinés. Après un intervalle approprié, il émet un accusé de réception vers l'expéditeur.

Pour plus de sécurité, chaque réseau local dispose également de son adresse-propre ; un paquet qui passe d'un réseau à l'autre est identique à ceux qui auraient été émis dans ce même réseau. Le champ d'adressage de 48 bits évitera toute duplication entre différents intervenants sur un même réseau.

Le système de transmission utilise un câble coaxial de 50 Ω, avec terminaison, et son débit est de 10 millions de bits par seconde. La longueur maximale d'un segment de câble est de 50 m mais plusieurs segments pourront être interconnectés selon des configurations à définir, à la condition toutefois de ne pas

L'ensemble de la normalisation fait intervenir les protocoles et les spécifications électriques, logiques et mécaniques. Les composants du réseau sont représentés figures 3 et 4 et le format d'un paquet comprend (fig. 5) :

- **Un préambule de 64 bits servant à la synchronisation et au marquage ;**
- **L'adresse de destination sur 48 bits, ce qui autorise 2^{47} adresses physiques.**
- **L'adresse source, de même format.**
- **Le champ indiquant le type de protocole, sur 16 bits, et le format.**
- **L'information, dont le format ira jusqu'à 1500 octets.**
- **Le test de redondance cyclique, sur 32 bits, de protection contre les erreurs.**

Le paquet étant complet, la porteuse est perdue après une durée d'un bit. L'espacement minimal entre deux paquets est d'une durée de 48 bits.

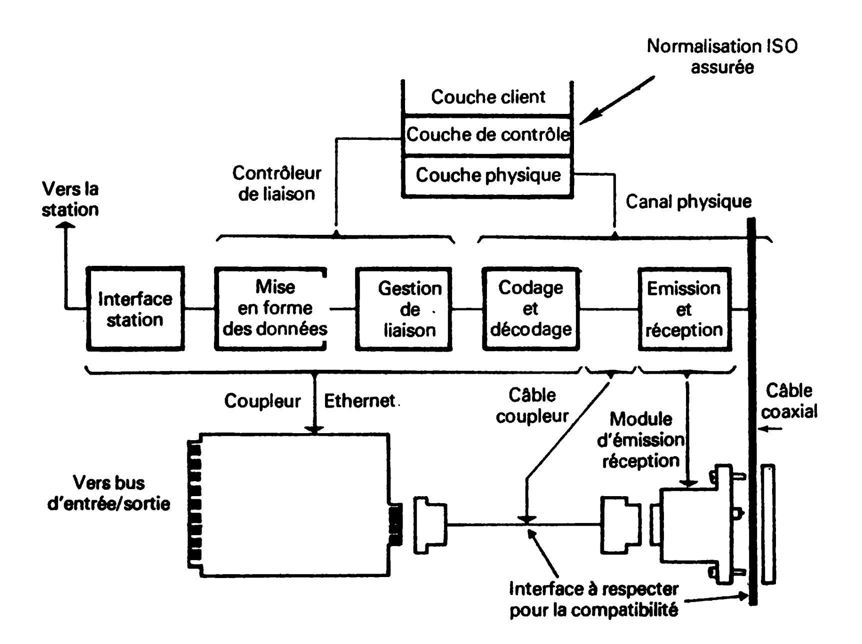


Fig. 4. — Architecture d'une liaison Ethernet.

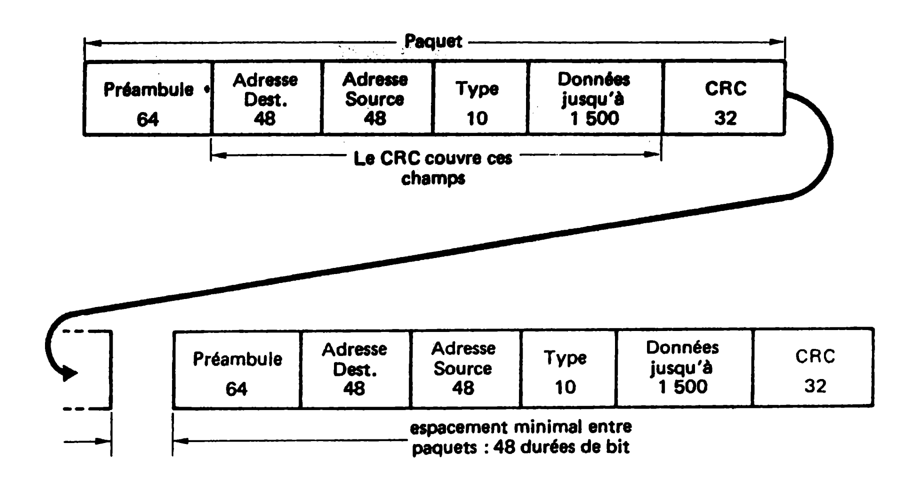


Fig. 5. — Le format des paquets d'information échangés via le câble coaxial.

dépasser 2 500 m. Chaque segment devra pouvoir recevoir jusqu'à 128 émetteurs-récepteurs. Compte tenu des collisions et du temps nécessaire à les résoudre, le débit maximal serait de l'ordre de 3 à 5 mégabits par seconde.

Plus de 300 sociétés avaient déjà acquis, au début des années 80, la licence d'Ethernet, et une cinquantaine de fabricants de terminaux et d'ordinateurs envisageaient la production des matériels adaptés à ce réseau *ouvert*.

Dans le cas d'une telle liaison, l'intérêt d'un coaxial est évident ; en effet, il transmet des fréquences plus élevées avec des pertes bien moindres qu'une paire classique. On peut cependant se demander si, à l'avenir, il ne pourrait se voir substituer des fibres optiques. D'autre part, ce mode de liaison se révèlera certainement très intéressant pour des cartes-systèmes telles que celles que réalisé *Intel* et dont la figure 6 illustre une application.

3.2. Autres réseaux

Le tableau d'accompagnement résume les caractéristiques de quelques autres réseaux. Ainsi, le réseau *Z-Net* proposé par *Zilog* fin 1980 est un peu moins ambitieux qu'Ethernet. Il couvre 2 km avec un débit de 800 kilobits/s sur câble coaxial.

ZNET

Un terminal ou un ordinateur lui est connecté via un bloc d'interfaçage, le boîtier « transceiver », bâti essentiellement autour d'un circuit intégré SIO de la famille des microprocesseurs Z80. La gestion du réseau est très simplifiée

car *Zilog* a visé, entre autres, l'économie ; aussi et fin 80, le transceiver valait quelque 6 000 F et le logiciel associé au système et réparti dans ses unités centrales, environ 2 000 F.

Datapoint a réalisé, avec ARC, l'un des plus anciens réseaux ; aux débuts des années 80, plus de 2000 avaient déjà été installés. Appelé Arc, ou Arcnet, ce réseau travaille à 2,5 mégabits par seconde.

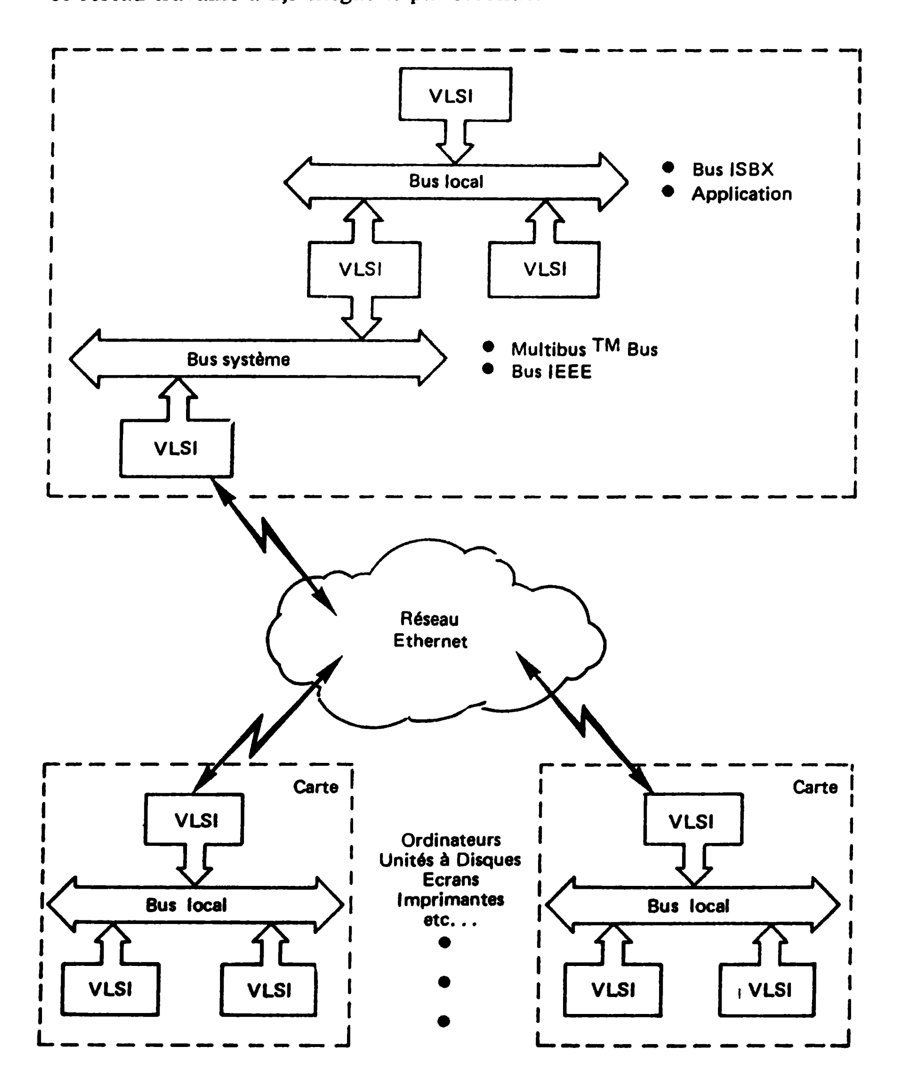


Fig. 6. — Le réseau Ethernet relie ici des systèmes à base de cartes Intel.

Quelques réseaux locaux

Société et Réseau / Caractéristiques	Datapoint Arcnet	Corvus Omninet	Gixi Gixinet	IMB	Sytec Localnet 20	Ungermann-Bass	Wang Wangnet	Xerox Ethernet	Zilog Znet TL
Large bande					×		×		
Bande de base	×	×	×	×		×		×	×
Méthode d'accès		CSMA	Jeton	Jeton	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	CMSA/CD
Support	Coaxial	Paire de fils torsadés	Paire de fils torsadés ou coaxial	Paire de fils torsadés	Coaxial	Coaxial	Coaxial	Coaxial	Coaxial
Vitesse de transmission	2,5 Mbits/s	1 Mbit/s	125 Kbits/s	1 à 4 Mbits/s	2 Mbits/s	4 Mbits/s	12 Mbits/s	10 Mbits/s	1 Mbit/s
Nombre de postes	255	64	20			1024	16000	1024	255
Longueur maximale	6 km	1,2 km	0,5 km	1 km		2,5 km	3 km	2,5 km	2 km
Transport de données	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Transport de la voix	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non*	Non
Transport de la vidéo	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non*	Non

*Des développements ultérieures laissent prévoir un « Oui ».

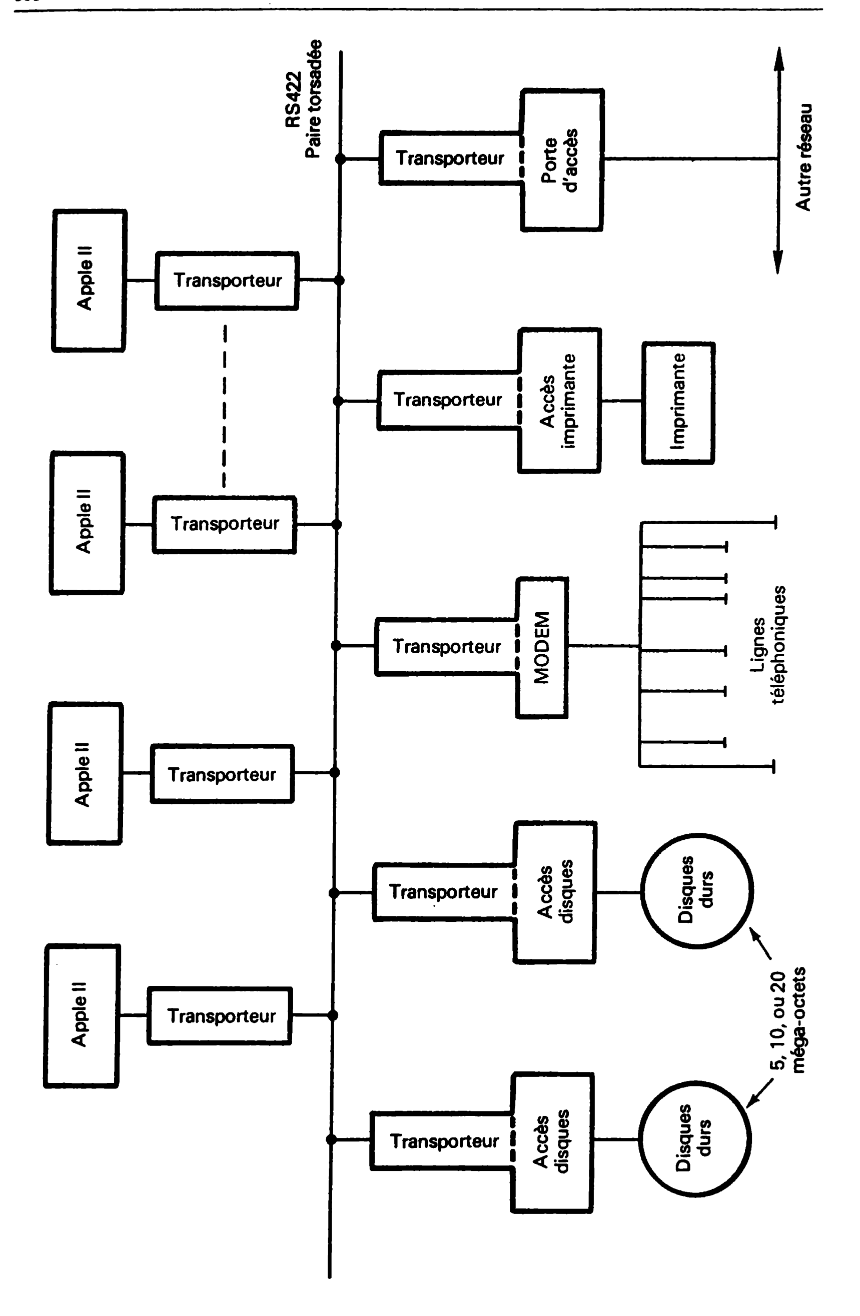


Fig. 7. — Organisation type d'un réseau Omninet.

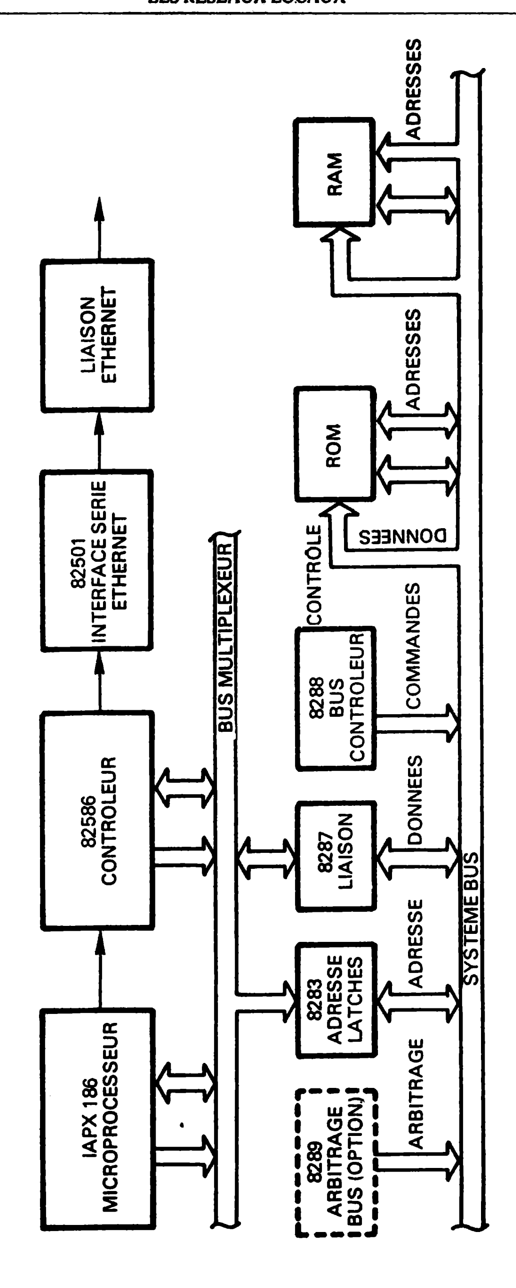


Fig. 8. — Utilisation des circuits spécialisés Intel type 82586 et 82501 dans un système à microprocesseur 186, pour une liaison Ethernet.

Des réseaux spécialisés ont, aussi, été conçus pour l'informatique personnelle. Ainsi, *Corvus* a crée le réseau Omninet pour micro-ordinateurs Apple II, ou autres, pouvant atteindre 1,2 km, en CSMA et avec un débit de 1 mégabit/s. Il peut relier jusqu'à 64 micro-ordinateurs ou périphériques, unités à disquettes, imprimante ou disques durs *Corvus,* de 5 à 80 méga-octets (fig. 7). L'accès se fait via un "transporter".

4. CIRCUITS INTÉGRÉS SPÉCIALISÉS

Afin de réduire les coûts de connexion au réseau local, divers fabricants étudient des circuits intégrés spécialisés. Ainsi en va-t-il de *Intel,* l'une des trois parties prenantes à l'origine des spécifications d'Ethernet (ajoutons que les normes étudiées par l'IEE sur ce réseau sont sensiblement différentes).

Intel proposait ainsi, en 1982, un jeu de deux circuits, le contrôleur de réseau 82586 et le circuit d'interface série Ethernet, le 82501, garantissant une compatibilité totale avec la couche physique et la couche de mise en forme des données telles qu'elles sont décrites dans les spécifications. Ces deux circuits pourraient intervenir dans un système comme le montre la figure 8.

CHAPITRE XIX

LE VIDÉOTEX

La « vidéotex » est un système de visualisation d'informations alphanumériques ou graphiques, sur un écran, soit sous forme diffusée (nom du système français ANTIOPE), tous les récepteurs recevant les mêmes informations et l'utilisateur choisissant dans le « menu » qui lui est proposé, soit sous forme interactive (nom du système français TELETEL) les récepteurs à travers le réseau téléphonique pouvant consulter des informations personnalisées, effectuer des transactions, ou échanger des messages par un système de boîte aux lettres électroniques.

1. VIDÉOTEX DIFFUSÉ ET INTERACTIF

Le vidéotex permet d'afficher sur un écran de télévision le contenu de banques de données présentées sous forme de pages d'écriture ou de graphiques simples. Il peut fonctionner de deux façons :

TÉLÉTEL

• En mode « interactif », l'usage interroge individuellement la banque de données à travers sa ligne téléphonique : c'est, par exemple, le système « Télétel » que les PTT devaient expérimenter à Vélizy, près de Paris, dès 1980. Une autre application est constituée par l'annuaire téléphonique électronique.

• En mode « diffusé », l'usage reçoit quelques dizaines de pages en plus de l'image normale. C'est le système utilisé dès 1979 par *Télédiffusion de France* (TDF) pour le magazine de la Bourse de Paris et le magazine météo d'Antenne 2 et connu sous le nom d'*Antiope.*

ANTIOPE

2. ANTIOPE

Antiope, c'est un service d'« Acquisition Numérique et Télévisualisation d'Images Organisées en Pages d'Ecriture ». Développé en France par le *Centre Commun d'Etudes de Télévision et de Télécommunications* (émanation de la *Direction Générale des Télécommunications* et de *Télédiffusion de France)* il était exploité, dès 1979, dans sa version diffusée par TéléDiffusion de France.

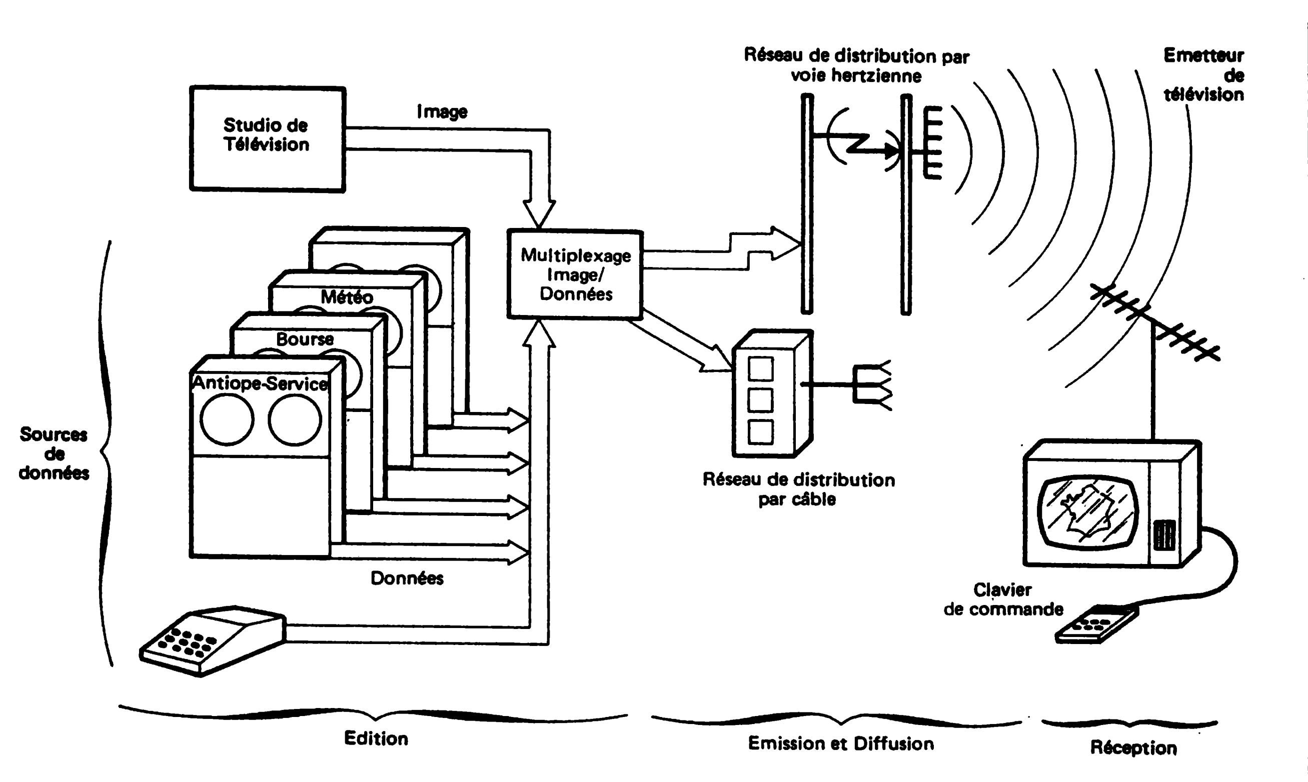


Fig. 1. — L'acheminement des données de la source à l'utilisateur, selon le système Antiope.

Cette technique consiste à utiliser les réseaux de télévision pour transmettre, en supplément ou en remplacement des images et des sons composant les programmes habituels, des textes et des schémas codés sous forme numérique. Ces informations sont visualisées, à la réception chez l'usager, sur un téléviseur couleur muni d'une « boîte noire » servant à décoder les signaux. Un petit clavier, analogue à une calculette de poche, permet au téléspectateur de sélectionner les pages Antiope. Il peut ainsi feuilleter plusieurs milliers de pages regroupées en « magazines » (fig. 1).

Aux caractéristiques des systèmes de radio-télévision (mise à jour instantanée, possibilité d'emploi à un moment donné, par des millions d'utilisateurs), Antiope ajoute la souplesse de consultation du texte écrit : l'usager reste maître en permanence du choix des rubriques et du rythme de sa lecture.

Les applications d'Antiope concernent des domaines aussi variés que les informations économiques, météorologiques, la sécurité, l'emploi, la formation, le tourisme et les loisirs, le sport, les petites annonces, la consommation, la vie domestique... Les prestataires d'information peuvent ainsi trouver dans Antiope un moyen de diffusion attrayant et efficace. Aussi, les services offerts sont-ils destinés tant à la vie professionnelle qu'aux activités personnelles.

Un télespectateur qui a branché son téléviseur sur un canal contenant des informations de télétexte et qui dispose d'un décodeur, choisit, grâce à un clavier de commande, une page parmi les milliers qui peuvent être diffusées. Cette page de texte et de graphiques s'affiche sur le téléviseur et y reste aussi longtemps que le spectateur le désire. Ces pages peuvent contenir toutes sortes d'informations et peuvent être mises à jour en permanence.

3. LE SYSTÈME DIDON

La diffusion sur réseau de télévision des informations numériques composant les pages Antiope, repose sur le système Didon *(Diffusion de Données)*. Le système réalise deux fonctions symétriques :

• *A l'émission* (multiplexeur Didon), il découpe le flot continu des données codées en paquets de 32 octets (dans la norme de télévision L). A chaque paquet est ajouté un préfixe, véritable étiquette de reconnaissance, qui comporte 8 octets de service dont 3 permettent l'identification de la voie numérique à laquelle appartient le paquet c'est-à-dire identifiant le magazine (fig. 2).

Les paquets ainsi constitués sont multiplexés au signal vidéo après modulation NRZ. Les lignes allouées du signal de télévision peuvent être partagées grâce à la construction de diverses voies numériques, entre plusieurs sources de données. Le système garantit un débit moyen maximum à chaque voie et permet d'ajuster la diffusion de l'information en fonction de son débit instantané.

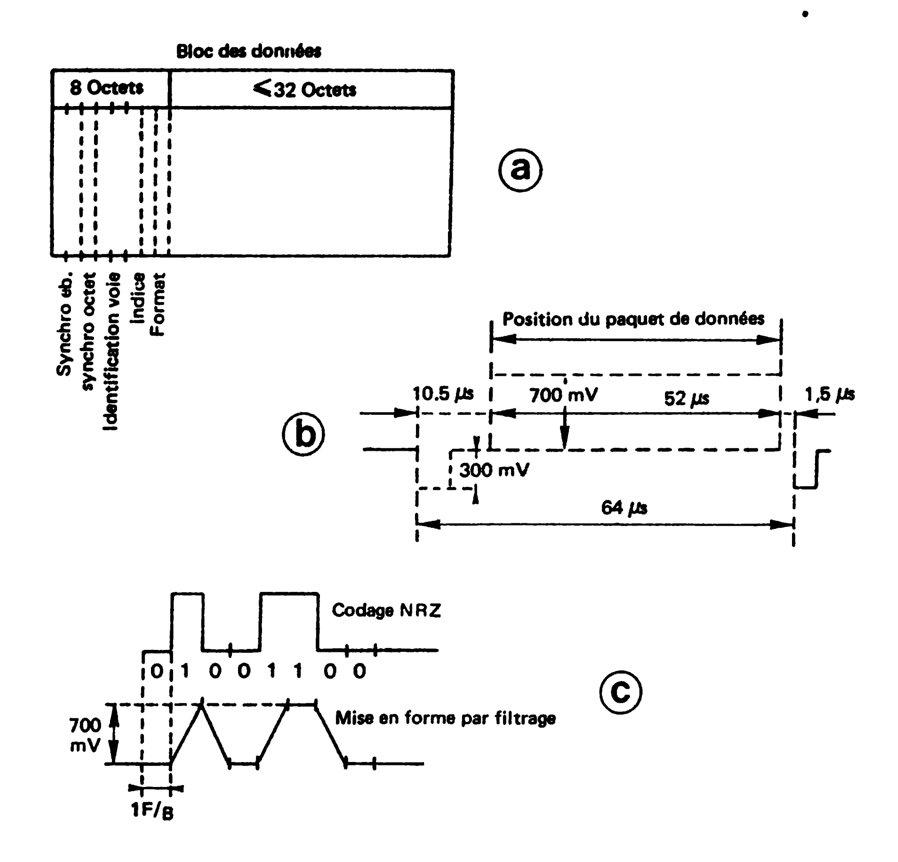


Fig. 2. — Le système Didon : caractéristiques du bloc de données (a), position du « paquet » de données dans la ligne de télévision (b) et codage NRZ (c).

La fréquence d'échantillonnage des données peut être adaptée à chaque standard de télévision sans autre conséquence que de modifier le débit utile du réseau. La ressource de diffusion du télétexte est donc constituée :

— *soit par les quelques lignes normalement inutilisées* (suppression de trame) : les informations de télétexte sont alors transmises simultanément à une image de télévision normale.

— *soit par l'ensemble des lignes du canal de télévision.* Dans le cas d'un réseau de télévision totalement affecté à la diffusion du télétexte, la capacité de transmission est très élevée (près de 4 Mbits/seconde).

• *A la réception* (démodulateur Didon), il assure les fonctions symétriques, c'est-à-dire démodulation des paquets, tri sur identificateur de voie et reconstitution intégrale, après élimination des préfixes, de l'information émise. Ce système est totalement « transparent ».

4. LE DÉCODEUR

Un récepteur TV ordinaire, muni d'un décodeur, suffit pour recevoir les magazines du télétexte. Le décodeur (fig. 3) extrait les données du signal vidéo et les visualise sur l'écran du récepteur. Un clavier de commande permet de choisir un magazine et d'en feuilleter les pages. L'ensemble de ces équipements constitue le terminal Antiope.

Le démodulateur Didon reçoit de l'étage H.F. du téléviseur une vidéo portant des données codées selon la procédure du système de diffusion. Par ailleurs, des informations élaborées par le bloc de gestion et notamment le numéro de magazine composé par l'utilisateur sur le clavier de commande, sont rapprochées des données codées extraites de la vidéo, de façon à sélectionner une voie numérique. Deux utilisations sont alors possibles :
— soit les données sont prises en charge par la deuxième partie du décodeur (mémoire de page, visualisation) pour être visualisées sur l'écran du récepteur ;
— soit elles sont dirigées, par l'intermédiaire d'une interface, vers toute autre utilisation qui pourra être désirée (impression ou entrée dans un micro-ordinateur par exemple). Cette interface permet également de recevoir des données d'un autre réseau (par exemple d'une voie téléphonique associée à un modem).

On appelle *page* un ensemble d'informations à visualiser simultanément sur l'écran. Chaque page comporte au maximum 24 « rangées » (plus une rangée d'en-tête) de 40 caractères. Les pages sont elles-mêmes numérotées et l'utilisateur « feuillette » son magazine en demandant l'affichage de telle ou telle page par composition, de son numéro sur le clavier de commande. Lorsque la page désirée sera diffusée et donc reçue par le récepteur de télévision, elle sera prise en charge par le décodeur et affichée sur l'écran. En effet, chaque magazine est diffusé en totalité de façon cyclique.

Le temps moyen d'accès à une page est ainsi directement lié au temps du cycle de diffusion du magazine complet qui, lui-même, dépend à la fois du nombre de pages du magazine et des ressources-lignes allouées. Avec des pages moyennement pleines, on considère que l'on peut diffuser une page par seconde par ligne de trame utilisée.

C'est le code ASCII qui a été utilisé, dans sa version normalisée ISO 646. Il est complété par un jeu secondaire de caractères « semi-graphiques ». Ceux-ci sont obtenus en découpant le rectangle de visualisation en 6 rectangles élémentaires qui peuvent être « allumés » ou « éteints » : l'écran est ainsi découpé en

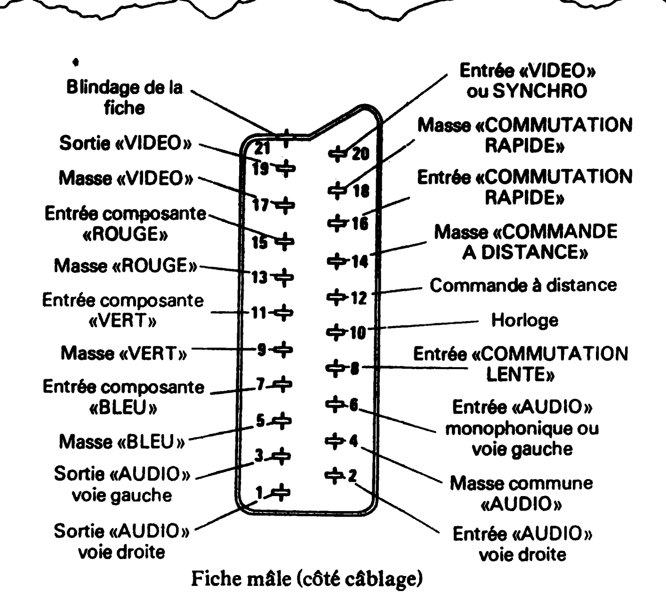
CONNEXION D'UN RÉCEPTEUR TV

— La prise Péritel —

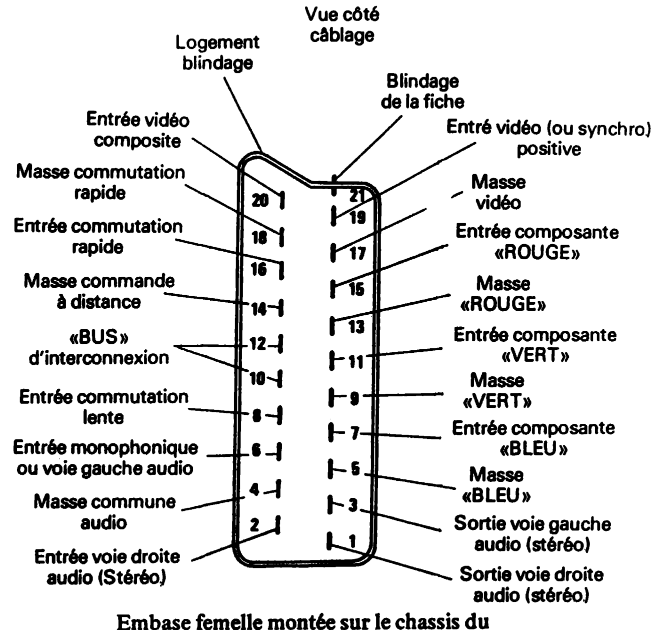
Parce que le téléviseur est entré dans tous les foyers et parce que son prix est modeste, il peut être aisément utilisé comme terminal pour le télétexte, l'informatique, etc.
« *L'interconnexion entre les dispositifs de péritélévision et les récepteurs de télévision grand public* » a fait l'objet d'une norme NF C 92-250 établie par une commission de l'*UTE* groupant les représentants de l'*EDF*, de la *FIEE (SCART* et *SIERE)*, de l'*AFNOR*, du *CNAM*, du *Comité de Coordination des Télécommunications* (TDF, CCETT, Ministère des PTT), du *LCIE* et de la *Diéli* (Ministère de l'Industrie) et adoptée le 8 novembre 1978. Elle est disponible à l'AFNOR.
Selon cette norme, le récepteur de télévision domestique devient le terminal visuel universel pour le grand public et devra être adapté aux nouveaux services tels que Antiope, Titan, Epeos, Discret, à la radiodiffusion directe par satellite et à diverses utilisations complémentaires telles que : télésurveillance domestique, jeux électroniques, caméra, magnétoscope, ordinateur familial, etc.
Des caractéristiques d'interconnexion ont donc été définies et elles portent sur les valeurs d'adaptation (tensions et impédances) et sur les caractéristiques dimensionnelles, mécaniques et électriques du connecteur utilisé à ces fins.
La partie *femelle* de ce connecteur à 21 contacts, ou « embase », est montée à demeure sur le récepteur et relié par câblage aux circuits ou éléments concernés. La partie *mâle*, ou « fiche », est reliée au périphérique intervenant. Les 20 broches sont disposées en deux rangées de 10 contacts en quinconce (plus un *contact spécial de blindage*), au pas de 3,81 mm avec distance entre axes des rangées de 5,08 mm ; leur affectation est définie dans la figure.
Les niveaux des signaux et les valeurs d'adaptation sont :

- ***En sortie audio, broches 3 et 1 :* f.e.m. de 100 mV eff. à ±3 dB, avec une impédance de source au plus égale à 1 kΩ pour les fréquences supérieures à 40 Hz. En monophonie, ces deux broches doivent délivrer des signaux identiques.**

- ***En entrée audio, broches 6 et 2 :* 100 mV eff. ±3 dB, avec une impédance de charge de 10 kΩ et une impédance d'entrée du téléviseur ≥4,7 kΩ. Ces deux broches sont reliées, en monophonie, de telle sorte que l'impédance entre elles soit au moins de 4,7 kΩ.**



Fiche mâle (côté câblage)



Embase femelle montée sur le chassis du récepteur de télévision (ou solidaire d'un câble)

• ***Les sortie et entrée vidéo, broches 19 et 20,*** **correspondent au signal vidéo composite.**

• ***Entrées pour composantes R, V, B, broches 15, 11 et 7 :*** **valeur crête à crête de la tension : 1 V (± 3 dB en mode commun et ± 0,5 dB en différentiel) sur 75 Ω, avec une tension continue superposée comprise entre 0 et + 2 V. Les composantes couleur sont positives.**

• ***Entrée commutation lente, broche 8 :*** **de 0 à 1 V pour l'état inactif, de 10 à 12 V pour l'état actif, surcharge de 4,7 kΩ et impédance d'entrée du récepteur ≥4,7 kΩ. L'état *inactif* correspond à la position « Réception télévision » et l'état *actif*, à la position « Péritélévision ».**

• ***Entrée commutation rapide, broche 16 : de 0 à 0,4 V pour l'état inactif*** **(réception télévision) et de 1 V à 3 V pour l'état *actif (péritélévision).***

Tous les téléviseurs vendus en France doivent obligatoirement être équipés de cette prise « Péritélévision » normalisée (selon le Journal Officiel **du 21 mars 1980).**

Cette prise est appelée, en abrégé, « Péritel ».

40 × 2 fois 24 × 3, soit 5 760 rectangles, élémentaires, ce qui donne un quadrillage suffisant pour faire des graphiques ou dessins relativement fins. Un jeu de caractères accentués, non normalisés, et utilisés dans divers pays européens, est également disponible.

L'utilisation d'un ensemble de caractères de service, reconnus comme tels parce qu'ils sont précédés d'un caractère spécial dit d'*échappement* offre les possibilités suivantes : indication de la couleur du fond, inversion des couleurs entre le caractère et son fond, clignotement du caractère, hauteur ou largeur simple ou double, choix entre le jeu alphanumérique et le jeu semi-graphique.

Grâce à un troisième jeu de caractère, dits « mous », il est possible de composer des textes en alphabet non-latins (cyrillique, arabe, etc...). Le système Antiope offre 16 alphabets différents. Antiope rend ainsi possible l'organisation d'un réseau « familial » tel que celui de la figure 4.

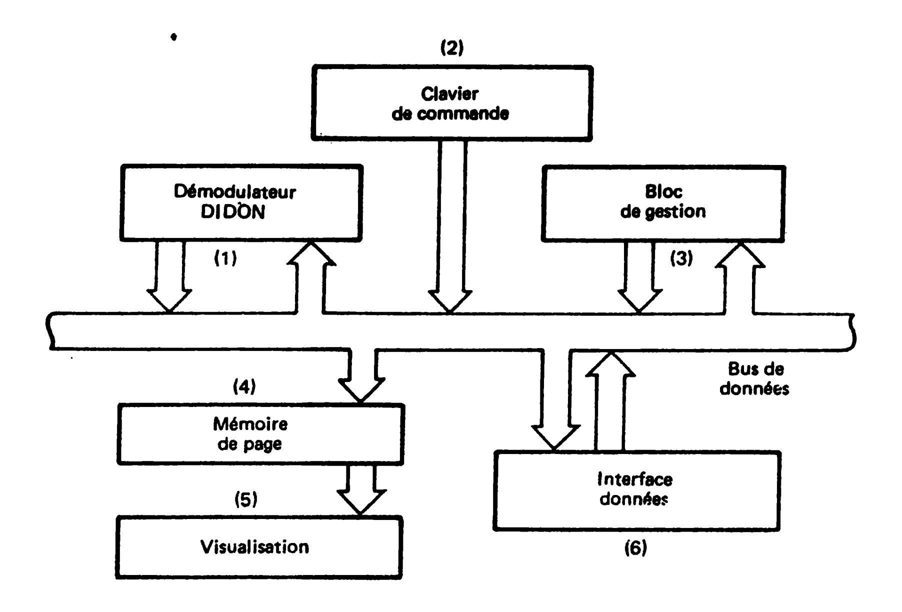


Fig. 3. — Synoptique du décodeur.

Caractéristiques du télétexte Antiope dans le standard de télévision		
Octets utiles par ligne T.V.	32	
Capacité pour 1 ligne T.V..bits/sec. par trame	12 800	
Nombre de caractères par rangée	40	
Nombre de rangées par page	25	
Pages/seconde pour une ligne de données par trame*	2	
Capacité maximum avec programme (7 lignes utiles si pas de lignes-test)	14 p/s	
Capacité maximum plein canal (295 l)	590 p/s	
Capacitè pour :	1 l/trame	Plein canal
un temps moyen d'attente de 5 s	20	5 900
un temps moyen d'attente de 10 s	40	11 800

* 1 page contient en moyenne 800 octets.

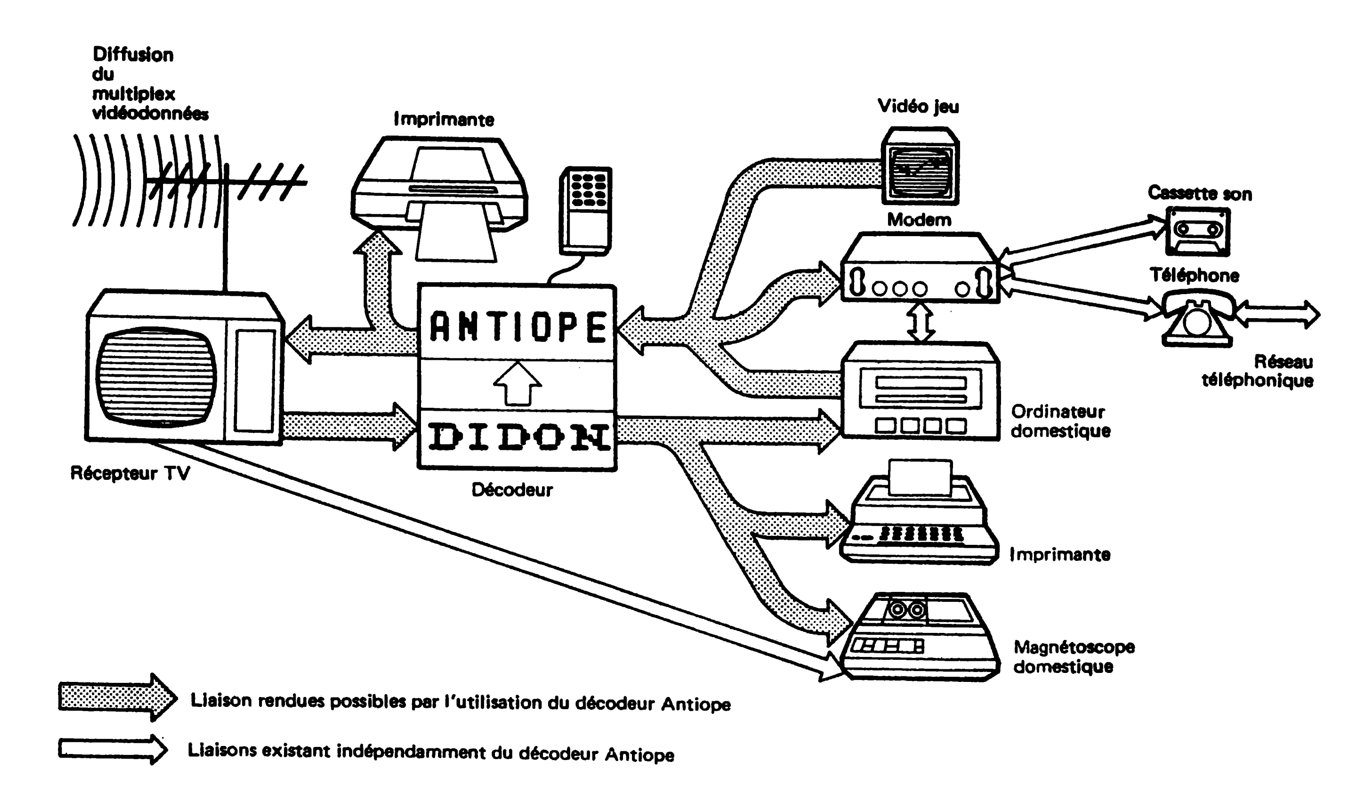


Fig. 4. — Un ensemble d'applications familiales possibles grâce à Antiope.

5. CIRCUITS INTÉGRÉS SPÉCIFIQUES

Divers fabricants ont entrepris la production de circuits intégrés destinés à Antiope. Ainsi, *Texas Instruments* a développé, à Nice, un jeu de trois circuits intégrés (fig. 5) dont un processeur d'affichage vidéo, appelé VDP pour « video display processor », mis à l'étude dès 1978. En technologie MOS à canal N, il regroupe quelque 8000 transistors à gates de 5 microns et se connecte au système environnant via deux bus : un bus de données allant vers une mémoire qui contient les informations à afficher ; un bus le reliant au microprocesseur principal qui pilote l'ensemble.

Grâce au VDP, le microprocesseur est déchargé de fonctions assez astreignantes et peut se livrer aux seules tâches « utiles » : calculs d'adresses, décodage, etc.

Plus simples, les deux autres circuits sont l'un, un trieur de données appelé « data slicer » ; son rôle consiste à séparer l'horloge et le signal numérique du signal analogique télévision et il est en technologie bipolaire. Le second est un processeur de préfixes en NMOS qui décompose les données numériques en informations de service et données à afficher.

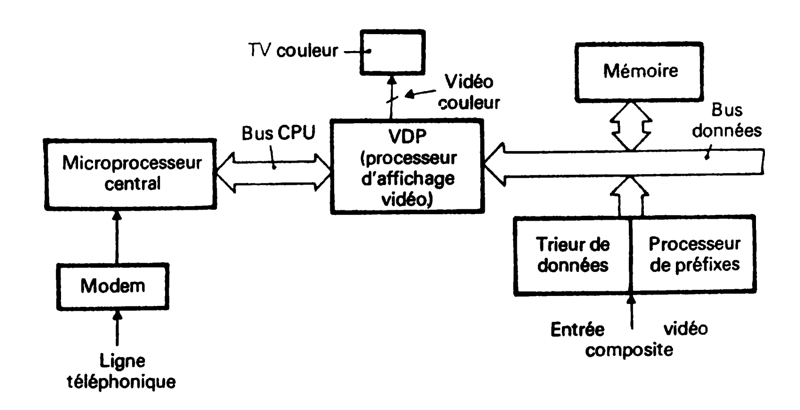


Fig. 5. — Les trois circuits spécialement conçus par Texas pour Antiope sont le VDP, ainsi que le trieur de données et le processeur de préfixes.

RTC a aussi créé un jeu de circuits spécifiques comprenant (fig. 6) :

- Un générateur de synchronisation « ATIC « *(Antiope Timing Chain),* le SAA 5120.
- Un générateur de caractères « AROM » *(Antiope ROM),* le SAA 5150.

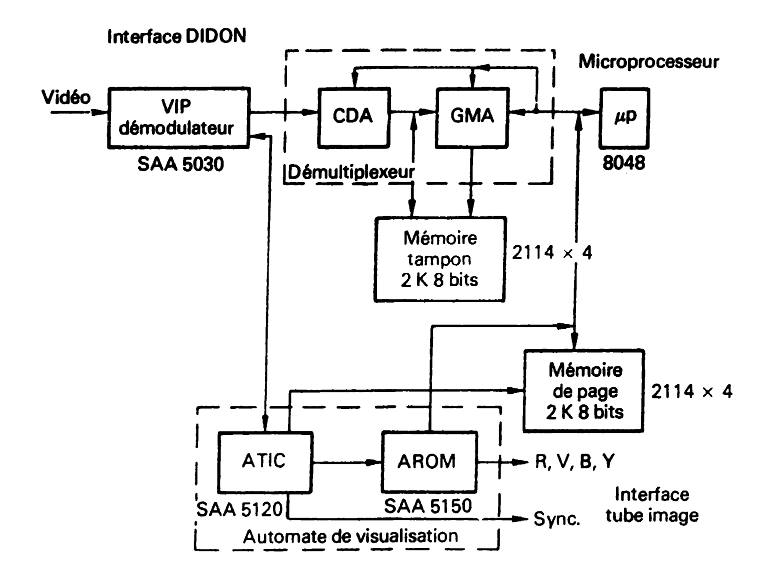


Fig. 6. — Circuits RTC pour Antiope.

• Un démodulateur « VIP » *(Video Input Processor)* pour Didon, le SAA 5030.

• Un démultiplicateur « CDA » *(Circuit Démultiplicateur Antiope),* le 5111 et un « GMA » *(Gestion Mémoire Antiope),* le 5110, ainsi qu'un circuit d'interface et modem SAA 5070.

CHAPITRE XX

TRANSMISSIONS OPTIQUES

Un intérêt croissant est accordé aux liaisons par fibres optiques, celles-ci remplaçant les conducteurs électriques classiques sur lesquels elles offrent de nombreux avantages. Il est probable qu'à terme, elles les supplanteront dans beaucoup de leurs applications. Une autre voie est offerte par les liaisons infrarouges, mais sur de courtes distances.

1. LES FIBRES OPTIQUES

Pour transmettre des informations numériques par fil, on se sert de câbles électriques. Or, on peut remplacer le support de l'information, *un courant électrique modulé,* par *un faisceau optique modulé :* dans ce cas, le conducteur ne sera plus un fil de cuivre mais une « fibre optique ».

Cette technique très prometteuse en est encore au stade de l'expérimentation dans des domaines qu'on peut classer arbitrairement :

1) — *Les télécommunications : il s'agit de liaisons à grandes distances,* où l'économie en cuivre est un facteur non négligeable (mais on verra que d'autres qualités interviennent en faveur des fibres optiques).

2) — *Les liaisons à courte distance* entre, par exemple, un ordinateur et son périphérique, ou un capteur industriel et la salle de contrôle, ou encore à bord de véhicules (avion...). Ici, c'est l'immunité aux parasites qui jouera le rôle essentiel, la liaison se faisant sur des distances de l'ordre du kilomètre ou moins.

Une liaison par fibre optique revêt l'aspect de la figure 1. Les informations numériques sont codées et modulent un émetteur de lumière, une diode laser par exemple. Celle-ci est étroitement couplée à une fibre optique qui transmet la lumière à son autre extrémité, également étroitement couplée à un récep-

teur, une diode photosensible. Ce dernier composant traduit alors en variations électriques les informations reçues ; il ne reste plus qu'à les décoder.

Qu'est-ce donc qu'une fibre optique ? C'est un guide d'onde cylindrique composé de deux matériaux transparents ; celui du cœur de la fibre possède un indice de réfraction n_1 ; celui de la périphérie est d'indice de réfraction n_2 inférieur à n_1. Les rayons lumineux émis à une extrémité et suffisamment inclinés sur l'axe se propagent par réflexions successives totales sur les parois ; la lumière est ainsi piégée dans la fibre, sans aucune transmission vers l'extérieur (fig. 2) et ne peut que se propager vers l'autre extrémité.

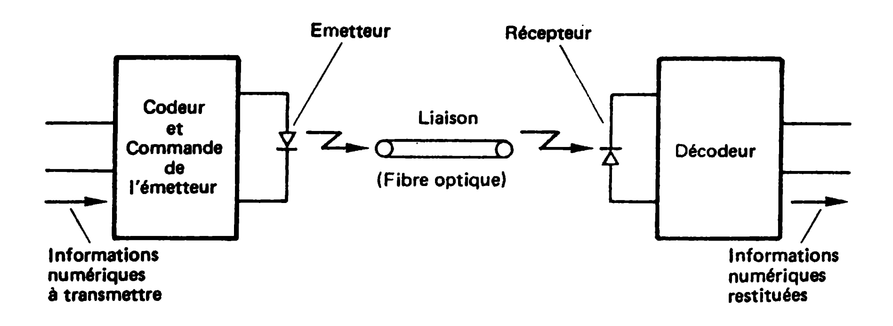


Fig. 1. — Structure d'une liaison par fibre optique.

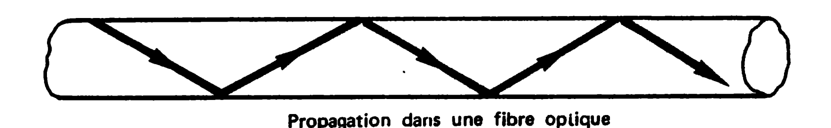


Fig. 2. — Propagation de l'onde lumineuse dans la fibre.

Pour les liaisons, leurs deux grandes caractéristiques sont :

1). — *Atténuation,* qui se mesure en décibels par kilomètre : elle est inférieure à 25 dB/km, et tourne le plus souvent autour de 2 à 5 dB/km. On espère la réduire à moins de 1 dB/km, ce qui permettrait d'espacer les répéteurs, sur de longues distances.

2) — *Leur bande passante :* c'est la gamme des fréquences qui peut être transmise. Pour une fibre, et c'est là où l'on trouve un avantage énorme sur les câbles électriques du cuivre, elle est supérieure à 20 MHz/km, peut atteindre quelques centaines de mégahertz (pour des fibres commercialisées en 1979) et même dépasser le 1 GHz/km.

Ces fibres sont proposées en *rouleaux* de un ou plusieurs kilomètres pour les télécommunications, ou en tronçons souvent garnis de leurs connecteurs d'extrémité pour les applications de type industriel. Leur prix variait, en 1979, autour de 10 F le mètre, mais il n'est nullement stabilisé et devrait considérablement diminuer à l'avenir.

Il existe différents types de fibres optiques et leurs caractéristiques théoriques ont fait l'objet de publications spécifiques. En pratique, des spécifications types pourront être les suivantes :

- **Le diamètre du cœur va de 10 à 300 micromètres ; en moyenne : 100 à 200 μm.**
- **Le diamètre de la gaine externe est de 100 à 400 μm.**
- **Elles admettent un rayon de courbure très faible de 50 à 5 mm.**
- **Leur résistance à la traction, pour un mètre de fibre, est de l'ordre du newton.**
- **Les matériaux utilisés sont de la silice, dopée ou non, du silicone.**
- **La température de fonctionnement peut aller de − 55 °C à + 150 °C.**

Si l'on espère de ces fibres optiques qu'elles fassent économiser des tonnes de cuivre et qu'elles se révèlent bien plus économiques, il est encore une qualité qui les fera préférer : la liaison par faisceau lumineux les rend parfaitement insensibles aux parasites électromagnétiques qui, autrement, perturbent les lignes électriques, d'où leur emploi en ambiance parasitée (industrielle, véhicules, etc.). En outre, elles offrent une absence de diaphonie entre voies et procurent des gains en poids et en encombrement. Enfin, leur matière première est très répandue (silice, silicone). Le tableau I résume leurs principales caractéristiques globales.

La figure 3 donne, pour exemple, la coupe d'un câble commercialisé par *Valtec* et qui a servi à réaliser des liaisons à Las Vegas dès 1977. Les six fibres optiques sont disposées autour d'un filin d'acier de 2,4 mm de diamètre qui assure la résistance à la traction ; les six fils de cuivre amènent l'énergie électrique à d'éventuels répéteurs. Chaque fibre est protégée par une gaine en polypropylène et le tout est enveloppé de Mylar, en barrière thermique, puis d'aluminium qui protège contre l'humidité, et enfin de polyéthylène. Les pertes sont de l'ordre de 3 à 5 dB/km ; la tenue à l'élongation est de 1 000 kg.

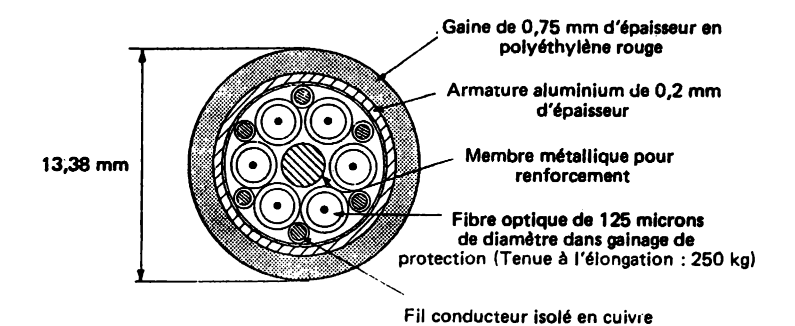


Fig. 3. — Configuration du câble à fibres optiques « Centel » de Valtec

Avantages	Inconvénients
• Très large bande passante • Capacité très élevée • Bande spectrale étendue • Elimination des interférences parasites • Faible encombrement • Faible poids • Insensibilité aux parasites électromagnétiques • Matière première abondante • Bonne tenue à la chaleur • Bonne résistance aux radiations • Isole galvaniquement l'émetteur et le récepteur • Pas de problèmes de masse • Non inductif • Ne craint pas les courts-circuits • Conseillé en ambiance explosive • Se contente de répéteurs éloignés • Peut être multiplexé • Reste encore très perfectible	• Pertes de transmission • Difficulté des raccordements • Moindre résistance mécanique que les câbles métalliques • Moindre tenue en température • Dérivations difficiles • Technologie non stabilisée

Tableau I. — Qualités des liaisons optiques.

2. LES ÉMETTEURS

Pratiquement tous à base d'arséniure de gallium, les émetteurs sont (tableau II) :

- ***Soit des diodes électroluminescentes* (« LED », pour *« light emitting diode »*), émettant une lumière non cohérente.**
- ***Soit des diodes laser,* émettant par conséquent une lumière cohérente.**

Les longueurs d'onde sont situées autour des 850 nm (820 à 880 nm) pour les LED avec une largeur spectrale de l'ordre de 40 nm ou moins pour une puissance optique d'environ 1 mW. La consommation est alors de quelque 200 mW. La durée de vie est d'environ 100 000 heures.

Pour les diodes laser, la longueur d'onde est semblable (850 nm) mais la largeur spectrale est beaucoup moindre (2,5 nm, par exemple) et la puissance optique émise supérieure, de l'ordre de 5 à 10 mW pour une consommation d'environ 500 mW. La durée de vie est d'environ 10 000 heures.

Caractéristiques			LED	Diode Laser
Longueur d'onde		(nm)	820 à 880	850
Largeur spectrale		(nm)	40	2,5
Puissance optique émise		(mW)	1	6 à 10
Temps	de montée de descente	(ns) (ns)	3 à 30 3 à 30	0,1 0,1
Consommation		(mW)	50 à 500	500
Durée de vie		(h)	100 000	10 000
Prix			Faible	Elevé

Tableau II. — Les émetteurs pour fibres optiques.

3. LES RÉCEPTEURS

Les récepteurs sont surtout des photodiodes PIN (« positif-intrinsèque-négatif ») ou PπIN (à avalanche), polarisées en inverse. Les photons de lumière incidents libèrent des porteurs et donnent naissance à un courant. La

Caractéristiques		Diode PIN	Diode Pπ In
Longueur d'onde	(nm)	800 à 900	900
Sensibilité	(A/W)	0,4	75
Puissance équivalent de bruit	$(W/\sqrt{Hz})$	10^{-14} à 10^{-13}	10^{-14}
Temps de montée de descente	(ns) (ns)	1 1	2 2
Courant d'obscurité	(nA)	100 à 0,2	50
Capacité	(pF)	10	2
Gain en courant		1	100
Prix		Moyen ou faible	Elevé

Tableau III. — Récepteurs pour fibres optiques.

structure la plus sensible est celle à avalanche car le courant est multiplié par cent, ce qui permet son exploitation à plus haute fréquence. leurs caractéristiques typiques en 1980 sont données dans le tableau III.

4. CONNECTEURS

Par « connexion », on entend la jonction des fibres entre elles et leur raccordement aux modules d'émission et de réception. On peut définir des :

1) — *Connexions permanentes,* par fusion de fibres (en laboratoire) ou épissurage (par collage) ; les pertes sont de l'ordre de 0,2 dB.
2) — *Connexions amovibles :* elles font appel à des connecteurs et exigent un ajustement mécanique très précis. Les pertes vont de 0,5 à 3 dB et la durée de vie est de l'ordre de 500 manœuvres.

Le tableau IV donne une liste de firmes impliquées dans la réalisation des composants pour liaisons optiques (source : *Electronique & Applications Industrielles,* n° 270).

Société (représentant en France)	Emetteurs à diodes électroluminescentes ou laser	Fibres et câbles optiques	Récepteurs (photodiodes PIN ou PπPN)	Connecteurs
AEG-Telefunken	x	x	x	
AMP				x
Asea-Hafo (CP Electronique) .	x		x	
A.T.I.	x	x	x	x
Bell Northern	x		x	x
Cabloptic		x		x
Groupe CGE	x	x	x	
CLTO		x		
Corning		x		
Deutsch				x
Dupont de Nemours		x		
EGG-Electro-Optic (RMP) . .			x	
Fairchild	x		x	
Felten & Guilleaume Carlswerk (Gematel-Lancier) .		x		x
Fibronics (Tekelec)	x	x	x	
Fort	x	x	x	x
Fujitsu (ERN)	x		x	x
Galileo	x	x	x	
General Electric			x	
Hewlett-Packard	x	x	x	x
Hitachi	x			
ITT	x	x	x	x
Litronix (CP Electronique) . .	x			
Monsanto	x		x	
Motorola			x	
National Semiconductor	x			
NEC	x		x	x
Optron (CP Electronique, Europavia)	x			
Groupe Philips	x	x	x	x
Pirelli		x		
Plessey	x		x	
Quartz et Silice		x		
Radiall	x		x	x
Rank Optics	x	x	x	
RCA	x		x	
Siemens	x	x	x	
Souriau				x
Spectroncis (ERN)	x		x	x
RTC	x		x	
Texas Instruments	x	x	x	
Thomas & Betts				x
Groupe Thomson (Brandt, LTT, Socapex, CSF..)	x	x	x	x
UMD Amphenol				x
Valtec (RMP)	x	x		

Tableau IV. — Qui fait quoi en transmission par fibres optiques ?

5. MODULES ÉLECTRONIQUES DE COMMANDE

Afin de développer les applications des fibres optiques dans les domaines industriels et au laboratoire, diverses firmes proposent des équipements prêts à l'emploi pour des distances limitées.

Ainsi, avec ses HFBR-1001 et 2001, *Hewlett-Packard* a réalisé des émetteurs et récepteurs monoblocs pour liaisons numériques par fibre optique ne mesurant que 43 × 16 × 7 mm chacun. Ils fonctionnent du continu à 10 Mbits/s en NRZ, l'émetteur ayant une puissance suffisante pour une liaison sur 100 m, ce qui le destine typiquement aux applications industrielles, informatiques... et non à la téléphonie. Leur schéma de principe est donné figure 4. Le schéma du récepteur est donné figure 5. Les entrées et sorties sont compatibles TTL. Tous deux se contentent d'une unique tension d'alimentation, de + 5 V. Un montage typique de l'alimentation est proposé figure 6. D'autres modules serviront à des liaisons jusqu'à 1 km.

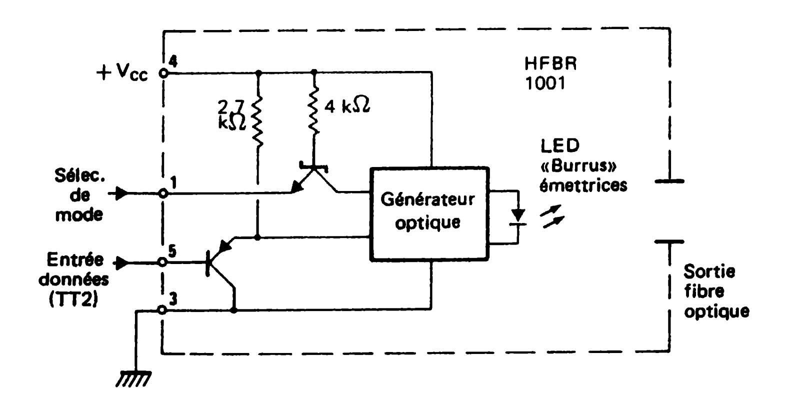


Fig. 4. — Principe du bloc émetteur HFBR 1001 de HP.

L'utilisation de modules prêts à l'emploi simplifie évidemment l'usage des liaisons optiques. Au niveau des composants eux-mêmes, les fabricants ont fait des efforts pour les rendre aisément adaptables aux fibres optiques. Ainsi, et en première étape *RCA* a réalisé des diodes avec capot amovible qui permettent à l'utilisateur l'accès à la surface émissive, en minimisant la distance de la fibre par rapport à cette surface. C'est le cas des diodes LED : C 30119 (diode centrée à 850 nm bande passante 150 MHz) et C 30123 (diode centrée à 830 nm bande passante 50 MHz). Ces boîtiers nécessitent cependant de la part de l'utilisateur une mécanique de précision pouvant être un handicap pour l'industrialisation à grande échelle.

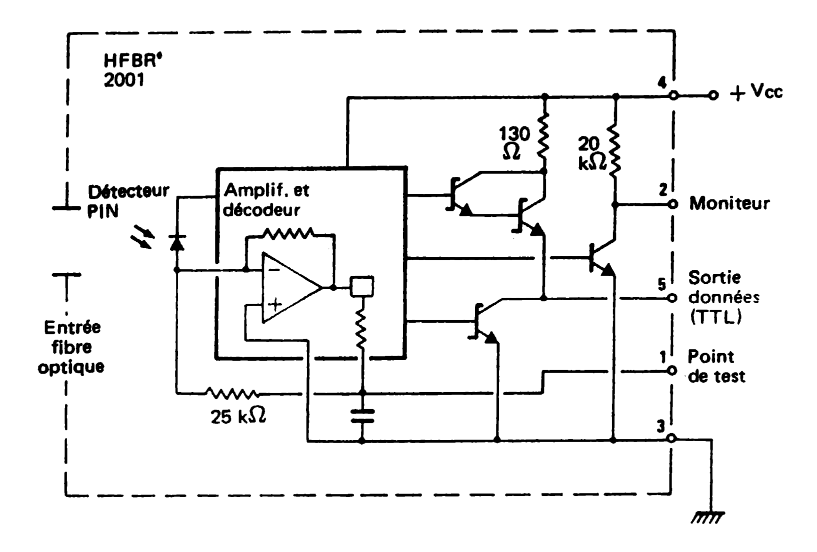


Fig. 5. — **Le bloc récepteur HFBR 2001.**

Aussi la firme a-t-elle conçu ensuite une *diode munie de sa fibre scellée hermétiquement au boîtier.* Elle existait, en 1979, en versions diodes d'émission LED (bande passante 150 MHz), avec les types C 30133 (fibre de 200 µm, puissance 150 µW en sortie de fibre à 820 nm), et C 86008 E (fibre de 100 µm montée par connecteur *Siegor,* puissance 60 µW en sortie à 820 nm), et en diodes laser avec la C 86010 E (fibre de 62 µm, puissance de sortie fibre 1 mW à 820 nm), C 86006 E (fibre de 100 µm, puissance de sortie fibre 2 mW à 820 nm) et C 86007 E (fibre de 200 µm, puissance de sortie fibre 4 mW à 820 nm). Ces trois types de diode sont montés avec un connecteur *Siegor* en extrémité de fibre.

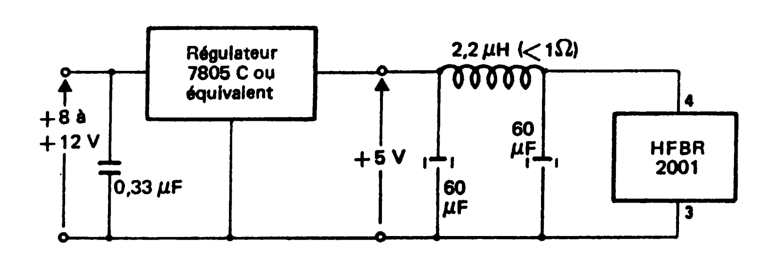


Fig. 6. — Alimentation type pour récepteur HFBR 2001.

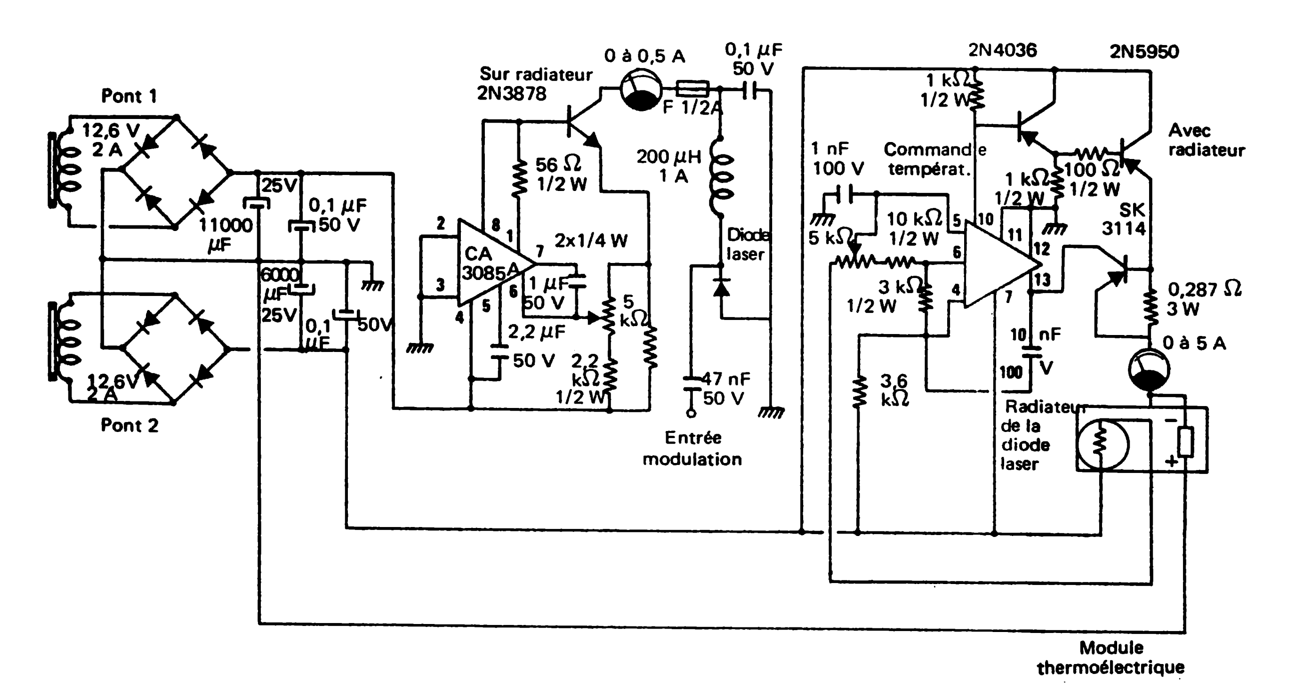


Fig. 7. — Schéma type de circuit de commande proposé par RCA pour les diodes laser et fibres optiques C 86006 et 7.

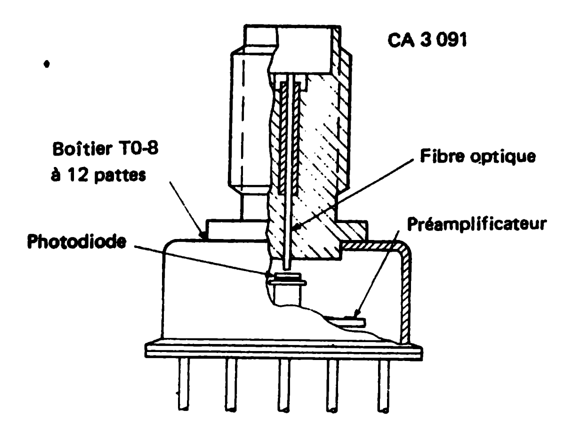


Fig. 8. — La photodiode C 309 10/14/17, elle, dispose de son amplificateur intégré compris dans le boîtier.

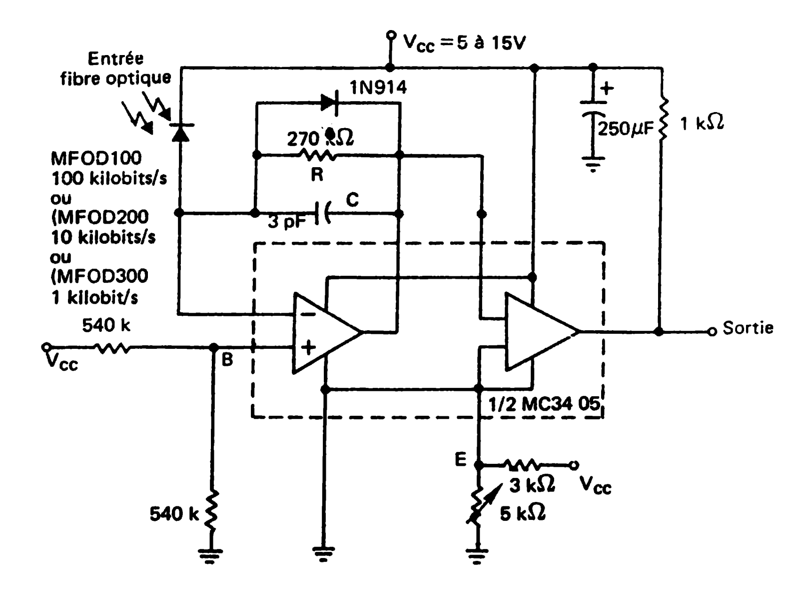


Fig. 9. — Récepteur 100 kilobits par seconde avec photodiode MFOD 100. Remplacée par un phototransistor MFOD 200, le débit passe à environ 10 kilobits/s, et au kilobit/s si c'est un Darlington MFOD 300 qui intervient. Le MC 3405 est un circuit double, une seule voie a été représentée.

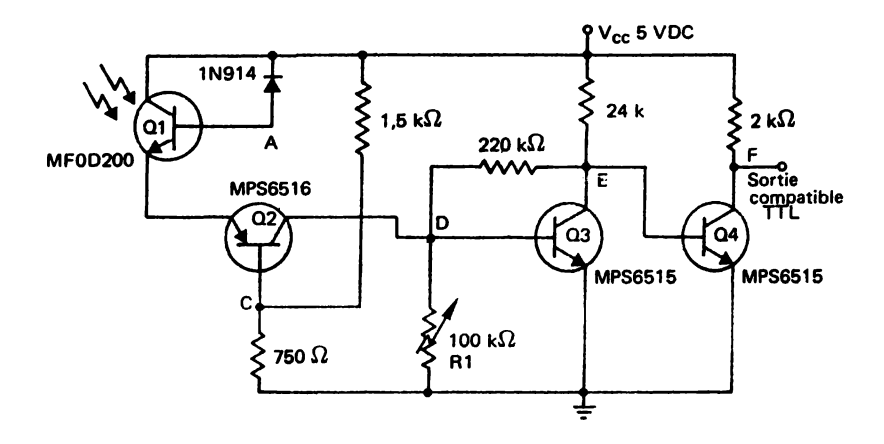


Fig. 10. — Dans le montage à transistors discrets, le photo-transistor MFOD 200 accède à des débits de l'ordre de 20 kilobits par seconde.

Un schéma-type de commande pour C 86006 et 7 est donné figure 7 ; il fait appel à deux amplificateurs intégrés types 3085 et 723 E. D'autre part, *RCA* a conçu un connecteur optique solidaire du boîtier avec les C 30904 E. C 30905 E, C 30908 E, photodiodes à avalanche dont l'âme du connecteur est un guide de lumière dont les diamètres respectifs sont de 0,5, 1,25, 0,25 mm. Le C 30908 a un temps de réponse de 0,5 ns. Pour la commodité d'utilisation, ces modèles sont d'ailleurs proposés avec préamplificateur intégré (modèle C 30910 E, C 30914 E et C 30917 E), comme le montre la figure 8.

Si le débit est inférieur à 100 kilobits par seconde, un circuit montage récepteur aussi simple que celui de la figure 9 peut suffire. Le circuit intégré MC 3405

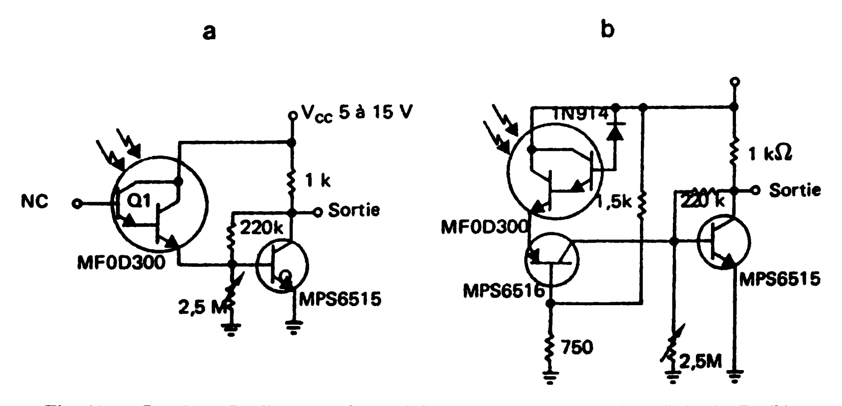


Fig. 11. — Le photo-Darlington, très sensible, lui, ne va que jusqu'au kilobit/s. En (b), le débit peut être accru par rapport à (a) car la base a été connectée.

contenant un double amplificateur opérationnel et un double comparateur, il peut servir deux voies. La contre-réaction par R, C en parallèle sur une diode, garantissent que l'entrée de l'amplificateur ne se saturera pas pour de forts photocourants. La photodiode PIN type MFOD 100 convient jusqu'à environ 100 kilobits/s ; le phototransistor MFOD 200, plus sensible mais plus lent, va jusqu'à quelque 20 kilobits/s (fig. 10), alors que des photo-Darlington tourneront autour du kilobit (fig. 11), dans des schémas encore plus dépouillés.

6. PREMIÈRES APPLICATIONS EN FRANCE

La première liaison par câble optique, en France, devait entrer en service fin 1980. Etablie sur 7 km entre deux centraux téléphoniques parisiens (Tuileries et Philippe-Auguste), sans amplification intermédiaire, elle a été commandée par la *Direction Générale des Télécommunications* du Ministère des *PTT* et confiée à *Thomson-CSF* avec *LTT Cabeltel* et *Socapex*. Le câble, de 2 cm de diamètre, comporte 70 fibres optiques et véhicule plus de 15 000 lignes téléphoniques.

Une installation comparable, en milieu industriel et assurée par le même groupe, devait être également réalisée en 1981. Commandée par la Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP), elle vise à relier deux gares du « métro express régional » (RER) distantes de 10 km, Vincennes et Noisy-le-Grand-Mont-d'Est. Elle assure une transmission bidirectionnelle de 30 voies téléphoniques entre deux terminaux à 2 mégabits par seconde.

Les laboratoires d'Electronique et de Physique appliquée (LEP) ont également étudié un réseau local dans lequel la voie de transport physique est un bus optique à accès passif assurant un débit de 140 mégabits par seconde sur un kilomètre avec un taux d'erreurs non détectées de 10^{-15} (fig. 12).

La voie de transport physique comprend le bus lui-même (topologie boucle ou étoile) et les modules de connexion (MCX) chargés de la conversion optoélectronique et des synchronisations ; la gestion des communications (assurée par des modules MC), qui garantit le transfert d'informations valides entre les stations connectées au bus (adressage, contrôles de flux et d'erreurs) ; la coordination entre ces stations est, elle, assurée par des modules de coordination, MCO (c'est à ce niveau qu'apparaît la répartition du contrôle de manière non hiérarchisée puisque chaque module peut émettre ou accepter une requête venant d'un utilisateur d'une station connectée sans intervention d'une station maître) ; enfin la gestion des applications est assurée par le système d'exploitation de chaque station ; il a pour charge de transmettre les demandes en provenance des utilisateurs locaux au réseau via le module de coordination qui lui est associé et d'exécuter les demandes en provenance du réseau, l'adressage de ces dernières étant assuré au niveau des modules de coordination.

Le débit assuré par le bus optique (140 Mbits/s) autorise pour chaque station une vitesse d'échange permanente de 340 000 mots (16 bits) par seconde pour une boucle avec 8 stations ou une étoile avec 16 stations et de 85 000 mots (16 bits) par seconde dans le cas d'étoile comportant 64 stations.

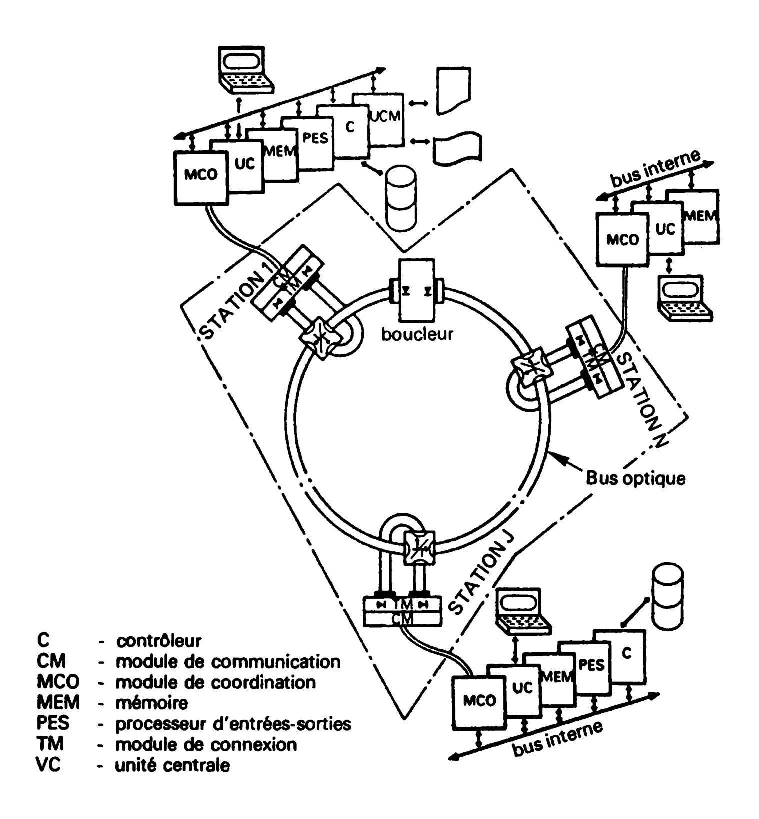


Fig. 12. — Système informatique distribué autour d'une boucle optique.

7. LIAISONS PAR INFRAROUGES

Supprimant totalement toute liaison par câble, *IBM* a même proposé, fin 1979, de procéder par infrarouge et a expérimenté de premières liaisons sur 64 et 125 kilobits par seconde.

L'intérêt de l'infrarouge est double :

• D'une part, on supprime tout fil et l'on peut toujours, par conséquent, modifier une implantation avec la plus grande aisance.
• D'autre part, l'infrarouge est insensible aux rayonnements électromagnétiques venant perturber les liaisons électriques.

Les essais ont été menés avec de l'infrarouge sur 950 nm. Dans l'aire de travail, chaque terminal ou ordinateur est équipé de diodes électroluminescentes (LED) pour l'émission, de photodiodes pour la réception. Dans une petite salle, les réflexions sur les murs rendent le rayonnement non directif ; de ce fait, il pourrait suffire de suspendre, au centre et au plafond d'une salle informatique, un « satellite »,.en liaison par infrarouge avec les divers matériels. Plusieurs satellites pourraient ensuite être câblés avec un ordinateur « hôte » (ordinateur principal, maître), ce que montre la figure 13. Si le local est vaste, on peut imaginer que les satellites et les terminaux, éventuellement mobiles, soient « en vue ».

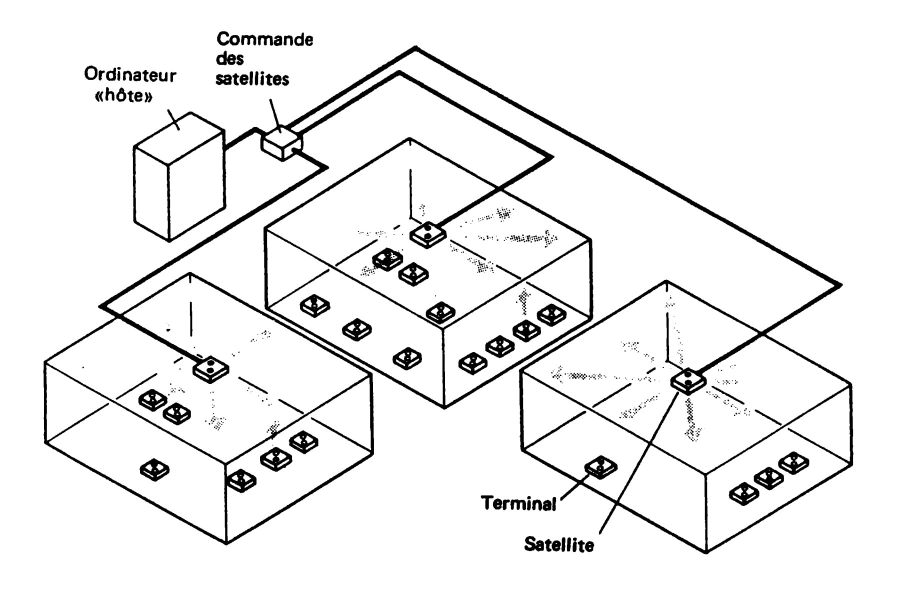


Fig. 13. — Implantation du système de communication par infrarouge, selon IBM. Dans chaque salle, les terminaux communiquent en infrarouge avec leur « satellite ». Les divers satellites sont reliés par fil à l'ordinateur hôte.

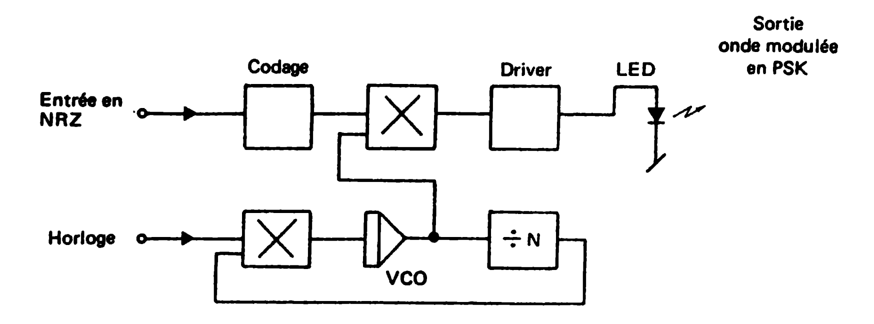


Fig. 14. — Synoptique de l'émetteur.

Une liaison expérimentale à 64 kbits/s a ainsi été assurée en modulation de phase PSK (« Phase Shift Modulation »), sur porteuse à 256 kHz. L'utilisation d'une telle fréquence, qui tombe hors du spectre des bruits ambiants, permet leur élimination ; de plus, elle rend possible l'exploitation de plusieurs canaux.

L'émetteur (fig. 14) reçoit un signal codé en NRZ (« non retour à zéro »), le convertit en RZ puis le code en diphase. Une boucle à verrouillage de phase (« PLL ») synchronise ensuite la porteuse sur l'horloge. Le réseau de diodes

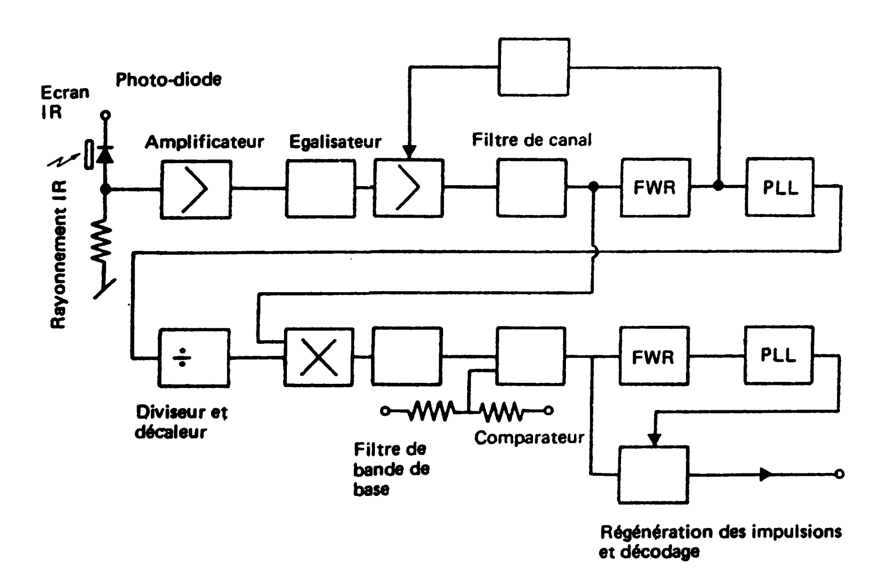


Fig. 15. — Synoptique du récepteur.

émettrices (LED) se compose de 10 diodes LD 271 en série rayonnant 100 mW (et donc sans danger pour la vue).

Le récepteur (fig. 15) reçoit le signal sur un réseau de 9 photodiodes BPW 34 en parallèle, offrant une surface de réception de 67 mm^2. La liaison portant sur 10 à 20 m, la probabilité d'erreur est de 10^{-7} avec 380 lux d'ambiance (mais passe à 10^{-3} pendant moins de 100 ms, lors de l'allumage de tubes fluorescents...).

D'autres essais ont été menés avec succès sur 125 kbits/s, la vitesse pouvant atteindre le mégabit avec une puissance rayonnée accrue et la distance, une cinquantaine de mètres. Ce qui limite la vitesse, c'est le bruit de fond produit par la lumière ambiante.

ORGANISMES COMPÉTENTS

UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) a été reconnue en 1947 comme l'institution spécialisée de l'ONU dans le domaine des télécommunications. Elle regroupe environ 150 pays membres. Son organe suprême est la « Conférence des plénipotentiaires » ; des « Conférences administratives » mondiales ou régionales sont convoquées pour traiter de questions particulières. La Conférence des plénipotentiaires élit un « Conseil d'Administration » avec un Secrétariat général. Les principaux Comités émanant de l'UIT sont les :
• *Comité International d'Enregistrement des Fréquences,* ou IFRB (« International Frequency Registration Board »).
• *Comités Consultatifs Internationaux* (CCI), parmi lesquels :
— Le *Comité Consultatif International des Radiocommunications,* ou CCIR.
— Le *Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique* (CCITT), constitué en 1956, auquel on s'est maintes fois référé dans cet ouvrage à propos des normes.
• L'adresse du CCITT est : 2, rue de Varembé, CH-1211 Genève 20, Suisse.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Fondée en 1906, la *Commission Électrotechnique Internationale* (CEI) couvre non seulement l'électronique et les télécommunications mais encore l'électricité et l'électrotechnique. La CEI, qui publie des normes, s'est affiliée en 1947 à l'*Organisation Internationale de Normalisation* (ISO).
• L'adresse de la CEI est : 1, rue de Varembé, 1211 Genève 20, Suisse ; tél. : (41) 022.34.01.50.

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION (ISO)

L'ISO fédère les différentes associations de normalisation des pays du monde ; 65 pays dont leur « Comité membre » représenté et 19 pays qui n'ont pas encore de Comité national de Normalisation étaient membres correspondants de l'ISO en 1979. Le « Comité membre » français est l'AFNOR. Les Comités de quelques autres pays sont :

- DIN : *Deutsches Institut für Norming* pour l'Allemagne ;
- BSI : *British Standards Institution* pour le Royaume-Uni ;
- SIS : *Sveriges Standardisk* pour la Suède ;
- ANSI : *American National Standards Institute* pour les USA ;
- JISC : *Japonese Industrial Standards Comittee* pour le Japon ;
- GOST : *Gorodarstvennyj Komitet Standartov* pour l'URSS.

L'AFNOR

L'*Association Française de Normalisation,* ou AFNOR, est le « Comité membre » de l'ISO pour la France. Il publie régulièrement des listes complètes de normes, recommandations, projets ou et avant-projets de normes ISO.
- L'adresse de l'AFNOR est : Tour Europe, Cedex 7, 92080 Paris la Défense ; tél. : (1) 788.11.11.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN)

Il groupe les représentants des organismes nationaux de normalisation des pays de la « Communauté Européenne » CEE et de l'« Association Européenne de libre échange » AELE, ainsi que l'Espagne. Le CEN a pour objet d'établir des normes européennes (EN), dont le principe est qu'elles entrent sans changement comme normes nationales dans les collections des normes des pays européens dont les comités membres ont voté en faveur de leur adoption.

L'ECMA

L'ECMA, *European Computer Manufacturers Association,* est constituée par les constructeurs de matériels informatiques en Europe et publie également des normes d'une grande importance professionnelle, bien que sans statut officiel.
- L'adresse d'ECMA est : 114, rue du Rhône, CH-1204 Genève.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION ÉLECTROTECHNIQUE (CENELEC)

Le CENELEC a été créé en 1972. Les normes européennes (EN) établies par le CENELEC sont intégrées dans les collections propres des pays européens selon le même principe de mise en application nationale des normes du CEN.

QUELQUES ADRESSES EN FRANCE

• La *Direction Générale des Télécommunications* (DGT) dispose d'un Service de la Téléinformatique, au 20, avenue de Ségur, 75700 Paris ; tél (1) 550.34.27.
• L'*Agence Commerciale Téléinformatique et Réseaux Spécialisés* est installée au 32, bd de Vaugirard, 75731 Paris Cedex 15 ; tél. : (1) 551.63.11.
• *Transpac* a pour adresse : Tour Maine-Montparnasse, BP 145, 75755 Paris Cedex 15 ; tél. : (1) 538.52.11.
• Le *Centre de Promotion de la Téléinformatique* est installé au 8-10, bd de Vaugirard, 75738 Paris Cedex 15 ; tél. ;.(1) 327.05.93.
• Le *Centre National des Télécommunications* (CNET) a pour adresse : 38-40, rue du Général Leclerc, 92131 Issy-les-Moulineaux ; tél. : (1) 638.55.84.
• Le *Centre Commun d'Études de Télévision et de Télécommunications* (CCETT), émanation de la DGT et de TéléDiffusion de France (TDF) traite de : 1) la transmission des images (télévision, visiophone) et des documents (télécopie) par les nouveaux procédés ; 2) la télédistribution ; 3) les nouveaux services audiovisuels sur téléviseurs ; 4) les réseaux de télé-informatique.
• *TéléDiffusion de France* (TDF), pour les services tels qu'Antiope : Délégation à l'information, 21-27 rue Barbès, 92120 Montrouge ; tél. : 657.11.15.

ORGANISMES INTERNATIONAUX

• *ANSI (American National Standards Institute),* 1430 Broadway, New York, NY 10018, USA.
• *DIN (Deustches Institue für Normung),* Burggrafenstrasse 4-7, D-1000 Berlin 30, Allemagne.
• *ASME (American Society of Mechanical Engineers),* 345 East, 47th Street, New York, NY 10017, USA.
• *EIA (Electronic Industries Association),* 2001 I Street, N.W., Washington, DC 20006, USA.
• *IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers),* 345 East 47th Street, New York, NY 10017, USA.
• *ISA (Instrument Society of America),* 67 Alexander Drive, POB 12277, Research Triangle Park, NC 27009, USA.
• *NBS (National Bureau of Standards),* Washington, DC 20234, USA.

BIBLIOGRAPHIE

Sur les microprocesseurs, l'informatique et la micro-informatique, on trouvera aux Éditions Radio (9, rue Jacob, 75006 Paris, tél. 329.63.70) toute une série de livres s'adressant du débutant au professionnel, avec :

— *L'ordinateur et l'informatique en 15 leçons,* par Pierre Morvan.

— *Du microprocesseur au micro-ordinateur,* par H. Lilen.

— *Comprendre les microprocesseurs,* par D. Queyssac.

— *Programmation des microprocesseurs,* par H. Lilen.

— *Initiation aux micro-ordinateurs,* niveaux 1 et 2, par Adam Osborne.

— *Répertoire mondial des microprocesseurs,* par E. Touret et H. Lilen.

— *6800 Programmation en langage assembleur,* par Lance A. Leventhal.

— *6502 Programmation en langage assembleur,* par Lance A. Leventhal.

— *8080/8085 Programmation en langage assembleur,* par Lance A. Leventhal.

— *Z80 Programmation en langage assembleur,* par Lance A. Leventhal.

— *Manuel de l'utilisateur APPLE II,* par L. Poole.

— *Manuel de l'utilisateur CBM 8001.*


121
137
122
Des pages manquantes

Service lecteurs

(à retourner à S.E.C.F.-Éditions Radio, 9, rue Jacob, 75006 Paris)

Pour nous permettre de vous proposer des ouvrages toujours meilleurs, nous souhaiterions recevoir vos critiques, appréciations et suggestions sur le présent livre :

____

____

____

____

Quels sont les ouvrages (thème, sujet, niveau) que vous souhaiteriez voir publier par notre société ?

____

____

____

____

Nous vous remercions de votre confiance et de votre coopération.

S.E.C.F.-Éditions Radio

Je désire recevoir gratuitement et sans engagement (mettre une croix dans la case) :

☐ Votre catalogue général (Electronique professionnelle et grand public, Informatique, Hi-Fi, Vidéo)

☐ Votre catalogue spécial informatique.

Nom : ____________________ Prénom : ____________________

Adresse : ____________________________________

____

Secteur d'activité et fonction : ____________________________

____

CENTRES D'INTÉRÊTS

☐ Electronique professionnelle

☐ Electronique de loisirs

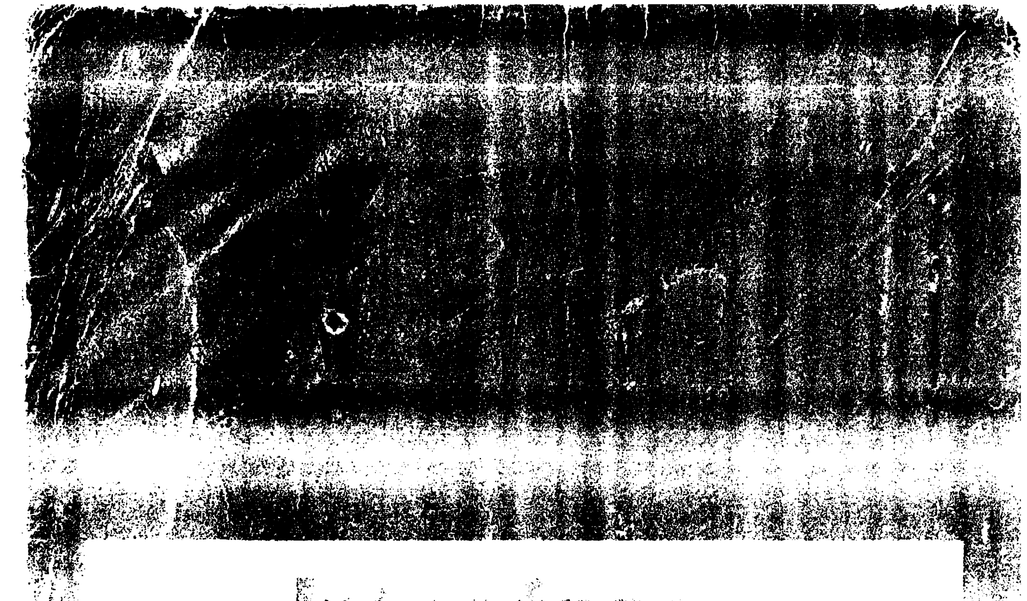
☐ Hifi, Vidéo, CB

☐ Micro-informatique

Matériels : ____________________

____

____



Interface

[illegible]

[illegible]

[illegible] qu'il vous faut savoir [illegible] relier [illegible] micro-ordinateurs au monde extérieur. [illegible] tous les modes essentiels de liaison aux [illegible] systèmes de communication. Il étudie les [illegible] parallèle, les modes synchrones et asynchrones [illegible] (RS 232, V.24...), les bus normalisés et le IEEE-488, [illegible] du téléphone, les modems, les principes des réseaux locaux et publics, pour les besoins industriels la conversion analogique-numérique et numérique-analogique, etc.

Il décrit les principaux circuits-types employés, les schémas de base, démystifie le vocabulaire et vous apporte ainsi une synthèse des connaissances nécessaires pour interfacer vos matériels.

9 782709 109185

ISBN 2 7091 0918 2

53



Prix 105 F